

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004年1月29日 (29.01.2004)

PCT

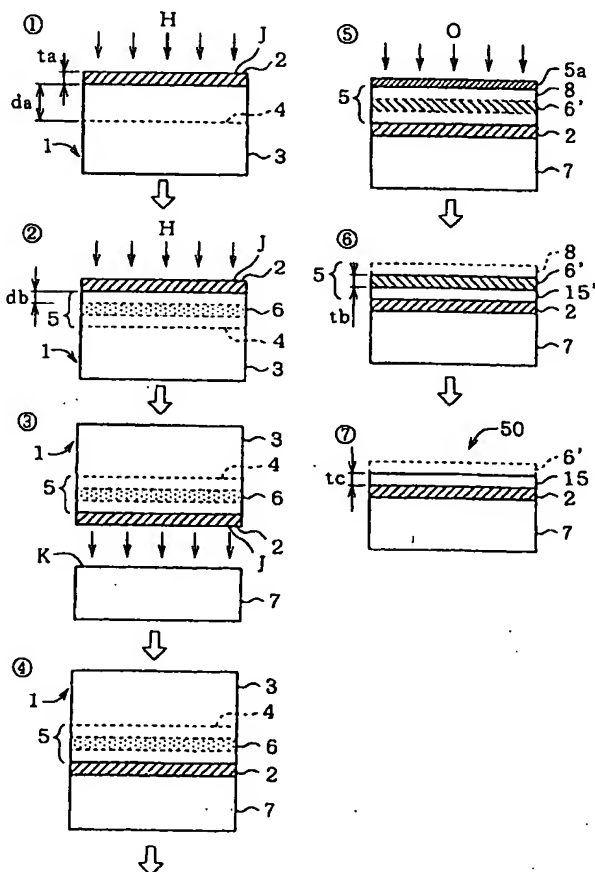
(10) 国際公開番号
WO 2004/010505 A1

- (51) 国際特許分類: H01L 27/12, 21/265
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/009006
(22) 国際出願日: 2003年7月16日 (16.07.2003)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願2002-209911 2002年7月18日 (18.07.2002) JP
特願2002-209866 2002年7月18日 (18.07.2002) JP
特願2002-221724 2002年7月30日 (30.07.2002) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 信越半導体株式会社 (SHIN-ETSU HANDOTAI CO.,LTD.) [JP/JP]; 〒100-0005 東京都千代田区丸の内1丁目4番2号 Tokyo (JP).
(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 三谷 清 (MITANI, Kiyoshi) [JP/JP]; 〒379-0196 群馬県安中市磯部二丁目13番1号 信越半導体株式会社 半導体磯部研究所内 Gunma (JP). 横川 功 (YOKOKAWA, Isao) [JP/JP]; 〒379-0196 群馬県安中市磯部二丁目13番1号 信越半導体株式会社 半導体磯部研究所内 Gunma (JP).
(74) 代理人: 菅原 正倫 (SUGAWARA, Seirin); 〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄二丁目9番30号 栄山吉ビル Aichi (JP).
(81) 指定国 (国内): CN, KR, US.
(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

[続葉有]

(54) Title: SOI WAFER AND PRODUCTION METHOD THEREFOR

(54) 発明の名称: SOI ウェーハおよびその製造方法



(57) Abstract: A production method for an SOI wafer, capable of reducing both an intra-wafer film thickness uniformity and an inter-wafer film thickness uniformity to sufficiently low levels even if the required film thickness level of an SOI layer is very low. Specifically, a peeling ion implantation layer (4) is formed in a bond wafer (1), and an etch stopping ion implantation layer (6) is formed in a position shallower than the peeling ion implantation layer (4). Then, after the bond wafer (1) formed with two ion implantation layers (4, 6) is coupled with a base wafer (7), a bond silicon single-crystal thin film (5) is peeled off the bond wafer (1) by the peeling ion implantation layer (4). And, the front layer of the bond silicon single-crystal thin film (5) pasted on the base wafer (7) by this peeling is etched back up to an etch stop layer (6') formed based on the etch stopping ion implantation layer (6).

(57) 要約: SOI 層の要求膜厚レベルが非常に小さい場合においても、ウェーハ内の膜厚均一性及びウェーハ間の膜厚均一性の双方を十分小さいレベルに軽減できるSOIウェーハの製造方法を提供する。具体的には、ボンドウェーハ1に対し剥離用イオン注入層4を形成し、さらに該剥離用イオン注入層4よりも浅い位置にエッチストップ用イオン注入層6を形成する。そして、それら2つのイオン注入層4, 6が形成されたボンドウェーハ1をベースウェーハ7に結合した後、ボンドウェーハ1から結合シリコン単結晶薄膜5を剥離用イオン注入層4にて剥離する。そして、この剥離によりベースウェーハ7上に貼り合わされた結合シリコン単結晶薄膜5表層部を、エッチストップ用イオン注入層6に基づいて形成されたエッチストップ層6'までエッチ

WO 2004/010505 A1

バックする。



添付公開書類:

一 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

S O I ウェーハおよびその製造方法

5 技術分野

本発明は、S O I ウェーハおよびその製造方法に関し、詳細には、シリコン酸化膜表面に形成厚さが異なる複数のS O I 層が形成されてなるS O I ウェーハおよびその製造方法に関する。

10 背景技術

携帯電話等の移動体通信においては、数100MHz以上の高周波信号を取り扱うのが一般的となっており、高周波特性の良好な半導体デバイスが求められている。例えば、CMOS-ICや高耐圧型IC等の半導体デバイスには、シリコン単結晶基板（以下、ベースウェーハともいう）上にシリコン酸化膜絶縁体層を形成し、その上に別のシリコン単結晶層をS O I（Silicon on Insulator）層として積層形成した、いわゆるS O I ウェーハが使用されている。これを高周波用の半導体デバイスに使用する場合、高周波損失低減のため、ベースウェーハとして高抵抗率のシリコン単結晶を使用することが必要である。

ところで、S O I ウェーハの代表的な製造方法として貼り合わせ法がある。この貼り合わせ法は、ベースウェーハとなる第一シリコン単結晶基板と、デバイス形成領域であるS O I 層となる第二シリコン単結晶基板（以下、ボンドウェーハともいう）とをシリコン酸化膜を介して貼り合わせた後、ボンドウェーハを所望の膜厚まで減厚し、薄膜化することによりボンドウェーハをS O I 層とするものである。

ボンドウェーハを減厚する方法にはいくつかあるが、均一な膜厚が比較的得やすく、かつ簡便な方法として、スマートカット法（商標名）が知られている。これは、

ボンドウェーハの貼り合わせ面（第一主表面とする）に対し、一定深さ位置に水素高濃度層が形成されるように水素をイオン注入し、貼り合わせ後に該水素高濃度層にてボンドウェーハを剥離する、というものである。

しかし、上記の方法には以下のような欠点がある。すなわち、スマートカット法
5 では、図10Aに示すように、剥離後に得られるSOIウェーハ50'（符号7はベースウェーハ、符号2はシリコン酸化膜である）の、SOI層8の表面に、イオン注入に伴うダメージ層8aが形成され、また、剥離面そのものの粗さは通常製品レベルのSiウェーハの鏡面と比べて相当大きくなる。従来、このダメージ層8aを除去するために、剥離後のSOI層8の表面を、研磨代の小さい鏡面研磨（タッチ
10 ポリッシュと通称され、機械的・化学的研磨が用いられる）により平坦化することが行なわれてきた。この方法を用いると、剥離面の短波長の粗さ成分は比較的容易に除去できるのに対し、新たに研磨代のウェーハ面内不均一性を付加してしまう。その結果、図10Bに示すように、得られるSOI層の膜厚 t の分布には、同一ウェーハ内の標準偏差値 σ_1 にて1～2nm程度生ずる。また、図10Cに示すように、
15 同一仕様ウェーハロットにおけるウェーハ間の、膜厚 t （ t_1 、 t_2 、 t_3 ）の標準偏差値 σ_2 では3nm程度以上の分布を生ずる。

なお、剥離面を不活性ガス雰囲気や水素雰囲気中で熱処理して平坦化を図る方法も考えられるが、剥離上がりの面粗さにはかなりのムラがあり、部分的に深い凹凸も生じやすいことから、1100℃以上で数時間以上、場合によっては1200℃
20 以上で数時間を超える熱処理条件が必要となり、現実的でない。また、剥離面の仕上がりになるべく均質化するために、水素イオン注入等の工程管理も厳しくしなければならず、製造能率や歩留まりの低下につながる。

こうした膜厚のばらつきは、現状の鏡面研磨技術の水準からすれば不可避免のものであり、SOI層の膜厚が100nm程度以上の膜厚に留まる限りは、特に大きな問題となるものではない。しかしながら、近年、SOIウェーハの主要な用途で
25

あるCMOS-LSI等においては、素子の微細化及び高集積化の傾向はますます著しくなっており、数年前まで100nm程度で超薄膜と称されていたものも、今ではさして驚くに値するものではなくなってしまった。現在、超薄膜SOI層として求められている平均膜厚は100nmを大きく下回り、数10nm（例えば20
5 ～50nm）から場合により10nm程度にもなっている。この場合、上記のような膜厚不均一のレベルは、狙いとする平均膜厚の10～数10%にも及び、SOIウェーハを用いた半導体デバイスの品質ばらつきや、製造歩留まり低下に直結してしまうことはいうまでもない。さらに、このような超薄膜かつ膜厚均一性が優れたSOI層であって、しかも、SOIウェーハの面内で部分的に異なる膜厚を有する
10 SOIウェーハは、従来では作製することができなかった。

本発明の課題は、SOI層の要求膜厚レベルが非常に小さい場合においても、ウェーハ内の膜厚均一性及びウェーハ間の膜厚均一性の双方を十分小さいレベルに軽減することが可能であり、ひいては超微細あるいは高集積度のCMOS-LSI等に加工した場合においても、品質ばらつきを抑制し製造歩留まりを向上させること
15 ができるSOIウェーハの製造方法を提供することにある。また、シリコン酸化膜の表面に形成厚さが異なるSOI層が形成されてなるSOIウェーハを対象にした際に、該SOI層の要求膜厚レベルが非常に小さい場合においても、ウェーハ内の膜厚均一性及びウェーハ間の膜厚均一性の双方を十分小さいレベルに軽減することが可能であり、ひいては超微細あるいは高集積度のCMOS-LSIやシステムL
20 SI等の半導体デバイスを形成した場合においても、その機能特性を高めることを可能とするSOIウェーハおよび、その品質ばらつきを抑制し製造歩留まりを向上させることができるSOIウェーハの製造方法も提供する。

発明の開示

25 （第一発明）

上記課題を解決するために、本第一発明のSOIウェーハの製造方法は、第一基板（ベースウェーハに相当する）とシリコン単結晶からなる第二基板（ボンドウェーハに相当する）との少なくともいずれかの第一主表面に絶縁膜を形成する絶縁膜形成工程と、

- 5 第二基板の第一主表面からイオンを打ち込むことにより、深さ方向のイオン注入プロファイルにおいて、第一の深さ位置に濃度ピークを有する剥離用イオン注入層を形成する剥離用イオン注入層形成工程と、

- 第二基板の第一主表面からイオンを打ち込むことにより、深さ方向のイオン注入プロファイルにおいて、第一の深さ位置よりも浅い第二の深さ位置に濃度ピークを
10 有するエッチストップ用イオン注入層を形成するエッチストップ用イオン注入層形成工程と、

剥離用イオン注入層とエッチストップ用イオン注入層とが形成された第二基板と、第一基板との第一主表面同士を、絶縁膜を介して貼り合わせる貼り合わせ工程と、

- 該貼り合わせ工程の後、エッチストップ用イオン注入層を含んだSOI層となる
15 べき結合シリコン単結晶薄膜を、第二基板より剥離用イオン注入層において剥離する剥離工程と、

結合シリコン単結晶薄膜中に、周囲部分よりも酸素濃度が高いエッチストップ層をエッチストップ用イオン注入層に基づいて形成するエッチストップ層形成工程と、

- 結合シリコン単結晶薄膜のエッチストップ層よりも表層側を、酸素濃度差に基づ
20 いて選択エッチングすることにより、結合シリコン単結晶薄膜を減厚する減厚工程と、

を含むことを特徴とする。

- 上記第一発明の方法は、基本的にはスマートカット法の原理を応用したものであるが、従来のスマートカット法では1つのみ形成されていたイオン注入層を、第一
25 発明の方法では2つ形成する点に特徴がある。具体的には、ボンドウェーハである

第二基板に対し剥離用イオン注入層を形成し、さらに該剥離用イオン注入層よりも浅い位置にエッチストップ用イオン注入層を形成する。そして、それら2つのイオン注入層が形成された第二基板を、ベースウェーハである第一基板に結合した後、第二基板から結合シリコン単結晶薄膜を剥離用イオン注入層にて剥離する。そして、

- 5 この剥離により第一基板上に貼り合わされた結合シリコン単結晶薄膜の表層部を、エッチストップ用イオン注入層に基づいて形成されたエッチストップ層までエッチバックする。

第一発明において、結合シリコン単結晶薄膜中に形成するエッチストップ層は、エッチストップ用イオン注入層に基づいて、周囲部分よりも酸素濃度が高い酸素高濃度層として形成される。このようなシリコン中の酸素高濃度層（たとえば酸化シリコン層）は、酸素濃度の低いシリコンとの間に、アルカリ溶液等に対する顕著なエッチング選択性を生ずるので、結合シリコン単結晶薄膜のエッチングを確実に停止させることができる。

- そして、上記のエッチストップ用イオン注入層は、第二基板の貼り合わせ前に、
15 平坦性の良好な第二基板の主表面を基準として形成され、また、剥離用イオン注入層よりも浅い位置に形成されるため、イオン打ち込み深さのばらつきが生じにくい。従って、得られるエッチストップ層は、鏡面研磨等により仕上げられた基板主表面の平坦性を反映した急峻かつピーク位置深さが一定に揃った酸素濃度プロファイル形状を有したものとなる。その結果、結合シリコン単結晶薄膜を該エッチストップ
20 層までエッチバックすることにより、ウェーハ内のみならずウェーハ間においても、膜厚分布が極めて良好なSOI層を得ることができる。

また、第一発明では、剥離用イオン注入層での剥離により、結合シリコン単結晶薄膜の表面は従来のスマートカット法と同様、一旦は比較的粗い剥離面となるが、これをタッチポリッシュにより平坦化するのではなく、結合シリコン単結晶薄膜の
25 減厚を兼ねたエッチングにより平坦化する。すなわち、従来、SOI層の膜厚分布

悪化の主要因となっていたタッチポリッシュが工程から排除される。また、剥離面の面粗さに多少のムラがあっても、エッチングによりその履歴はほとんど消滅し、過酷な熱処理によらずに十分平坦化できる。従って、剥離用イオン注入層形成の工程管理もそれほど厳しく行なう必要がなくなり、製造能率や歩留まりの向上にも寄与する。S O I 層の膜厚分布をより良好なものとするには、第二基板は、イオン注入の基準として用いる第一主表面が鏡面研磨面とされた鏡面研磨ウェーハを使用するとよい。

上記第一発明の方法により、最終的に得られるS O I 層の膜厚均一性を、同一ウェーハ内の膜厚の標準偏差値にて例えば0.4 nm以下に確保できる。また、同一仕様のウェーハ間の標準偏差値にて2 nm以下に確保することもできる。その結果、S O I 層が、50 nm以下、さらには20 nm以下の超薄膜化される場合でも、ウェーハ内及びウェーハ間の膜厚バラツキを、十分実用に耐える範囲にまで軽減することが可能となる。

(第二発明)

上記課題を解決するために、第二発明のS O I ウェーハの製造方法は、第一基板（ベースウェーハに相当する）とシリコン単結晶よりなる第二基板（ボンドウェーハに相当する）との少なくともいずれかの第一主表面に絶縁膜を形成し、該絶縁膜を介して第一及び第二基板の第一主表面同士を貼り合わせる貼り合わせ工程と、

第二基板の第一主表面からみてS O I 層となるべき第一のシリコン層部分を隔てた第一の深さ位置に、イオン注入法によりエッチストップ用イオン注入層を形成するエッチストップ用イオン注入層形成工程と、

エッチストップ用イオン注入層に向けて酸素を拡散させる酸素拡散工程を行ない、該エッチストップ用イオン注入層の酸素濃度を高めることにより、周囲部分よりも酸素濃度が高いエッチストップ層を形成するエッチストップ層形成工程と、

第二基板の厚さ方向において第一のシリコン層部分と反対側に位置する部分を第

二のシリコン層部分として、貼り合わせ工程後において、第二のシリコン層部分の少なくともエッチストップ層と接する領域を酸素濃度差に基づいて選択エッチングすることにより、厚みを減ずる減厚工程と、

を含むことを特徴とする。

- 5 上記第二発明の方法も、エッチストップ層の形成及び選択エッチングを第一発明と同様に行なう。従って、エッチストップ層の作用・効果は第一発明と全く同じである。第二発明においてエッチストップ用イオン注入層は、イオン注入エネルギーの制御により、注入深さ方向のイオンの分布を比較的良好に制御できる。そして、この打ち込まれたイオンは、第二基板の第二のシリコン層部分に結晶欠陥（ダメージ層）を形成する。そして、酸素拡散工程を行なうことにより、第二基板中に拡散した酸素はこの結晶欠陥に捕獲され、エッチストップ層を形成する。該エッチストップ層は、エッチストップ用イオン注入層の注入イオン分布ひいては結晶欠陥分布に対応した急峻かつピーク位置深さが一定に揃った酸素濃度プロファイル形状を有したものとなる。その結果、第二基板の第二のシリコン層部分を該エッチストップ層までエッチバックすることにより、ウェーハ内のみならずウェーハ間においても、膜厚分布が極めて良好なSOI層を得ることができる。また、このエッチバックにより、従来、SOI層の膜厚分布悪化の主要因となっていたタッチポリッシュを工程から排除できることも、膜厚分布改善に大きく寄与する。最終的に得られるSOI層の膜厚均一性も、同一ウェーハ内の膜厚の標準偏差値にて例えば0.4 nm以下に確保できる。また、同一仕様のウェーハ間の標準偏差値にて2 nm以下に確保することもできる。その結果、SOI層が、50 nm以下、さらには20 nm以下の超薄膜化される場合でも、ウェーハ内及びウェーハ間の膜厚バラツキを、十分実用に耐える範囲にまで軽減することが可能となる。
- 10
- 15
- 20

- 25 なお、第二発明のSOIウェーハの製造方法においても、エッチストップ用イオン注入層形成工程を、貼り合わせ工程に先立って、第二基板の第一主表面からイオ

ンを打ち込むことにより行い、貼り合わせ工程の後、エッチストップ用イオン注入層又は該エッチストップ用イオン注入層に基づいて形成されたエッチストップ層と接する領域を含む第二のシリコン層の一部を残して、第二基板を減厚する予備減厚工程を実施することができる。

5 (第三発明)

上記課題を解決するための第三発明のSOIウエーハの製造方法は、

絶縁膜の表面に形成厚さが異なるようにSOI層が形成されてなるSOIウエーハの製造方法であって、

第一基板とシリコン単結晶よりなる第二基板との少なくともいずれかの第一主表面に絶縁膜を形成する絶縁膜形成工程と、

前記第二基板の第一主表面側の最表面層を選択的に被覆するパターン層を形成するパターン層形成工程と、

該パターン層が形成された前記第二基板に対して、前記第二基板の第一主表面側からイオン注入法によりイオンを打ち込むことにより、該第一主表面からみてSOI層となるべき第一のシリコン層部分を隔てた第一の深さ位置に、前記パターン層のパターンに応じて前記第一主表面からの形成深さ位置がそれぞれ異なるエッチストップ用イオン注入層を形成するエッチストップ用イオン注入層形成工程と、

前記第二基板より前記パターン層を除去した後、該第二基板と、前記第一基板とを、前記絶縁膜を介して、それぞれの前記第一主表面同士を貼り合わせる貼り合わせ工程と、

前記エッチストップ用イオン注入層を、自身の周囲部よりも酸素濃度が高いエッチストップ層とするエッチストップ層形成工程と、

前記第二基板の厚さ方向において、前記第一のシリコン層部分と反対側に位置する部分を第二のシリコン層として、前記貼り合わせ工程後において、前記第二のシリコン層の少なくとも前記エッチストップ層と接する領域を、酸素濃度差に基づい

て選択エッチングすることにより減厚するエッチング減厚工程とを含むことを特徴とする。

上記第三発明の方法における第一の特徴は、シリコン単結晶からなるボンドウエーハである第二基板中にイオン注入法によりエッチストップ用イオン注入層を形成することである。また、このエッチストップ用イオン注入層は、図19A～19Dの模式図に示すように、パターン層20が形成された第二基板1の第一主表面J側からイオンを打ち込むことにより形成される。よって、形成されるエッチストップ用イオン注入層6は、第一主表面JからみてSOI層となるべき第一のシリコン層部分60を隔てた第一の深さ位置に、第一主表面Jからの形成深さ位置がそれぞれ異なるものとして形成される。

上記エッチストップ用イオン注入層の形成深さ位置は、イオン注入エネルギー、シリコン酸化膜の膜厚、パターン層の膜厚をそれぞれ適宜調整することにより制御することができる。また、それぞれ異なる深さ位置に形成されるエッチストップ用イオン注入層は、面内方向に間断なく形成される。このようにして、SOI層となるべき第一のシリコン層60部分の膜厚を、図19A～19Dに示すように適宜調整することが可能となる。ここで、図19B、19Dは、SOI層の一部に膜厚ゼロの領域を含むSOIウエーハを作製する場合の例であり、図19A、図19Cは、膜厚ゼロの領域を形成しない場合である。また、図19A、図19Bは第一主表面J上にシリコン酸化膜2およびパターン層20が形成されている場合で、図19C、図19Dは第一主表面J上にパターン層20が形成されている場合であるが、イオンの打ち込みは、それらいずれかの状態で行なわれることになる。

また、パターン層は、公知のフォトリソグラフィーやフォトエッチングを用いて所定のパターンに形成される。この際のパターンが、SOI層となるべき第一のシリコン層部分の膜厚パターンに反映されることになる。

上記のように第二基板中に形成したエッチストップ用イオン注入層を、その後、

自身の周囲部よりも酸素濃度の高い酸素高濃度層となるエッチストップ層とする。
このようなシリコン中の酸素高濃度層（例えば酸化シリコン層）は、酸素濃度の低いシリコンとの間に、アルカリ溶液等に対する顕著なエッチング選択性が生じるので、結合シリコン単結晶薄膜のエッチングを確実に停止させることができる。

- 5 上記のエッチストップ用イオン注入層は、平坦性の良好な第二基板の第一主表面を基準として形成されるので、イオンの打ち込み深さのばらつきが生じにくい。このことは、例え、第一主表面にパターン層や絶縁膜を形成したとしても、それらの平坦性は、第一主表面の平坦性を反映するものであるから、やはり、イオンの打ち込み深さのばらつきが生じにくいと言える。従って、得られるエッチストップ層は、
10 鏡面研磨等により仕上げられた第一主表面の平坦性を反映した急峻かつピーク位置深さが一定に揃った酸素濃度プロファイル形状を有したものとなる。その結果、第二のシリコン層をエッチストップ層までエッチバックすることにより、ウエーハ内のみならずウエーハ間においても膜厚分布が極めて良好なSOI層を得ることができる。また、このエッチバックにより、従来、SOI層の膜厚分布悪化の主要因となっていたタッチポリッシュを工程から排除できることも、膜厚分布改善に大きく寄与する。さらに、エッチストップ用イオン注入層を形成するためのイオンの打ち込みは、SOI層を取り出す側の第一主表面からなされるので、イオン注入深さが浅くてすみ、そのばらつきが生じにくい。このことも、得られるエッチストップ層の酸素濃度プロファイル形状を急峻かつピーク位置深さが一定に揃ったものとし、
15 ひいては、SOI層の膜厚分布を極めて良好なものとするに寄与する。上記したことに付随するが、SOI層の膜厚分布をより良好なものとするには、第二基板は、第一主表面が鏡面研磨面とされた鏡面研磨ウエーハを使用することが、特に第三発明においては好適である。

- 25 上記第三発明のSOIウエーハの製造方法においては、第一基板と、パターン層をエッチング等にて除去した第二基板とを絶縁膜を介して第一主表面同士にて貼り

合せた後、エッチストップ用イオン注入層に基づいて形成されたエッチストップ層を含んだSOI層となるべき結合シリコン単結晶薄膜を、エッチバックにてエッチング減厚がなされる。つまりは、第二のシリコン層をエッチストップ層までエッチバックする。この場合、第二基板そのものを、直接エッチバックにてエッチング減厚を行なってもいいが、作業効率などの観点より以下に示す方法を用いるのが得策といえる。

その1つは、貼り合わせ工程の後、エッチング減厚工程に先立ち、エッチストップ用イオン注入層または該エッチストップ用イオン注入層に基づいて形成されるエッチストップ層と接する領域を含む、第二のシリコン層の一部を残して、第二基板を減厚する予備減厚工程を実施することである。この予備減厚工程は、平面研削盤等を用いた機械研削や機械化学的研磨により行なう方法や、ここでは、第二シリコン層のシリコン層のみの減厚を考えればいいので、エッチング減厚工程に用いるエッチング液よりもエッチングレートの高いものを用いた方法やエッチングレートの高いドライエッチングによる方法などにて行なう。その結果、この予備減厚工程を行なうことで、エッチング減厚工程を行なう前に、予め第二基板の膜厚を低減させることができ、その作業効率を高めることが可能となる。

また、予備減厚工程を行なう方法として、上記以外にも、従来のスマートカット法の原理を応用した方法が有効なものの1つとして採用することができる。まず、貼り合わせ工程に先立って、第二基板の第一主表面側からイオンを打ち込むことにより、深さ方向のイオン注入プロファイルにおいて、上記した第一の深さ位置よりも深い第二の深さ位置に濃度ピークを有する剥離用イオン注入層を形成しておく。そして、貼り合わせ工程の後に、第二基板を剥離用イオン注入層において剥離する。このような予備減厚工程を行うことによっても、エッチング減厚工程を行う前に、予め第二基板の膜厚を低減させることができ、その作業効率を高めることが可能となる。

上記したスマートカット法の原理を応用した方法を用いた場合、剥離用イオン注入層での剥離により、その剥離面となる結合シリコン単結晶薄膜の表面は従来のスマートカット法と同様、一旦は粗い剥離面となるが、これをタッチポリッシュにより平坦化するのではなく、結合シリコン単結晶薄膜の減厚も兼ねたエッチング減厚

5 工程のエッチングにより平坦化する。従って、従来のスマートカット法を用いているにもかかわらず、タッチポリッシュが不要とされるものである。また、剥離面の面粗さに多少のムラがあっても、エッチングによりその履歴はほとんど消滅し、過酷な熱処理条件も全く不要である。従って、剥離用イオン注入層形成の工程管理もそれほど厳しく行なう必要がなくなり、製造能率や歩留まりの向上にも寄与する。

- 10 また、上記した剥離用イオン注入層の形成は、例えば、図 2 1 A～図 2 1 D の模式図に示すような形態で行なうのが望ましい。図 2 1 A、図 2 1 B は、少なくともパターン層となるべきパターン形成用層 2 1 が形成された状態で、剥離用イオン注入層 4 の形成を行なう例である。また、図 2 1 A は絶縁膜 2 が形成された状態で、図 2 1 B は絶縁膜が形成されていない状態を示すものである。図 2 1 C、図 2 1 D
- 15 は、パターン層を形成し、まず、エッチストップ用イオン注入層 6 を形成した後に、パターン層を除去した状態で、剥離用イオン注入層 4 の形成を行なう例である。また、図 2 1 C は絶縁膜 2 が形成された状態で、図 2 1 D は絶縁膜が形成されていない状態を示すものである。このような形態で剥離用イオン注入層を形成する理由は、パターン層となるべきパターン形成用層を形成する際に必要とされる加熱条件
- 20 によって、剥離用イオン注入層が、貼り合わせ工程前に意図しない形で剥離してしまう場合が想定されるからである。

上記第三発明の方法を用いることで、最終的に、図 2 0 A、図 2 0 B の模式図に示すような、絶縁膜の表面に形成膜厚が異なる S O I 層が形成された S O I ウェーハとすることができるとともに、その S O I 層の膜厚の膜厚不均一のレベルを従来の

25 のものより効果的に低減させることが可能となり、同一ウェーハ内の膜厚の標準偏

差値にて例えば0.4 nm以下に確保することができる。また、同一仕様のウエーハ間の標準偏差値にて2 nm以下に確保することもできる。その結果、形成されるSOIウエーハを用いた半導体デバイスの機能特性を高めることが可能となり、製造上においても、SOIウエーハの品質のバラツキを抑制し、製造歩留まりを向上

5 させることが可能となる。また、SOIウエーハのSOI層において、形成厚さが最大となる層厚が、50 nm以下、さらには20 nm以下の超薄膜化とされる場合でも、ウエーハ内およびウエーハ間の膜厚ばらつきを、十分実用に耐える範囲にまで軽減することが可能となる。さらに、その膜厚ばらつきを上記した数値範囲にまで軽減することが可能とされるので、有為にSOIウエーハを用いた半導体デバイ

10 スの機能特性を高めることが可能となる。なお、ここでいう形成膜厚が異なるSOI層（図20Bのように一部の領域の膜厚がゼロとなる場合も含む）とは、意図的に膜厚が異なる様に領域を区分して形成したSOI層のことであり、従来のSOIウエーハ製法の様に全面に均一な膜厚を形成しようとした結果として、部分的に形成膜厚が異なるSOI層が形成されたSOIウエーハとは相違する。また、本明細

15 書も含めて、ここでいうSOI層の膜厚の標準偏差値とは、形成膜厚が同一となるように意図的に形成された領域ごとの標準偏差値または、その平均値を指すものとする。つまり、図20A、図20Bの模式図を用いれば、図20Bにおいては、SOI層をなす各層の膜厚の標準偏差値またはその平均値を指し、図20Aにおいては、SOI層をなす各A領域および各B領域の膜厚の標準偏差またはその平均値を

20 指すものとする。

図面の簡単な説明

図1は、第一発明によるSOIウエーハ製造方法の第一実施形態を示す工程説明図。

25 図2は、エッチストップ層形成に及ぼすパーティクルの影響を、その対策方法と

合わせて説明する図。

図 3 は、剥離工程後のダメージ層の除去例を模式的に示す図。

図 4 は、減厚工程後のダメージ層の除去例を模式的に示す図。

図 5 は、本発明の効果説明図。

5 図 6 は、第一発明による S O I ウェーハ製造方法の第二実施形態を示す工程説明図。

図 7 は、第一発明による S O I ウェーハ製造方法の第三実施形態を示す工程説明図。

10 図 8 は、第一発明による S O I ウェーハ製造方法の第四実施形態を示す工程説明図。

図 9 は、エッチストップ用イオン注入層形成工程の変形例を示す工程説明図。

図 10 A は、S O I ウェーハの製造に係る従来法の問題点を示す第 1 の図。

図 10 B は、S O I ウェーハの製造に係る従来法の問題点を示す第 2 の図。

図 10 C は、S O I ウェーハの製造に係る従来法の問題点を示す第 3 の図。

15 図 11 は、第二発明による S O I ウェーハ製造方法の第一実施形態を示す工程説明図。

図 12 は、第二発明による S O I ウェーハ製造方法の第二実施形態を示す工程説明図。

20 図 13 は、第三発明による S O I ウェーハの製造方法の第一実施形態を示す工程説明図。

図 14 は、エッチストップ層形成に及ぼすパーティクルの影響を、その対策方法と合わせて説明する図。

図 15 は、剥離工程後のダメージ層の除去例を模式的に示す図。

25 図 16 は、第三発明による S O I ウェーハの製造方法の第二実施形態を示す工程説明図。

図 1 7 は、第三発明による S O I ウェーハの製造方法の第三実施形態を示す工程説明図。

図 1 8 は、第三発明による S O I ウェーハの製造方法の第四実施形態を示す工程説明図。

5 図 1 9 A は、第三発明の製造方法の第一態様を説明するための第 1 模式図。

図 1 9 B は、第三発明の製造方法の第一態様を説明するための第 2 模式図。

図 1 9 C は、第三発明の製造方法の第一態様を説明するための第 3 模式図。

図 1 9 D は、第三発明の製造方法の第一態様を説明するための第 4 模式図。

図 2 0 A は、第三発明が対象とする S O I ウェーハを説明するための第 1 模式図。

10 図 2 0 B は、第三発明が対象とする S O I ウェーハを説明するための第 2 模式図。

図 2 1 A は、第三発明の製造方法の第二態様を説明するための第 1 模式図。

図 2 1 B は、第三発明の製造方法の第二態様を説明するための第 2 模式図。

図 2 1 C は、第三発明の製造方法の第二態様を説明するための第 3 模式図。

図 2 1 D は、第三発明の製造方法の第二態様を説明するための第 4 模式図。

15 図 2 2 は、エッチストップ用イオン注入層形成工程の変形例を示す工程説明図。

図 2 3 は、第三発明による S O I ウェーハの製造方法の第五実施形態を示す工程説明図。

図 2 4 は、第三発明による S O I ウェーハの製造方法の第六実施形態を示す工程説明図。

20

発明を実施するための最良の形態

以下に本発明を実施するための最良の形態について述べる。

(実施の形態 1)

図 1 は第一発明に係る S O I ウェーハの製造方法の基本的な実施形態を説明する

25 ものである。まず、工程③に示すように、第一基板としてのベースウェーハ 7 と、

工程①に示すシリコン単結晶よりなる第二基板としてのボンドウェーハ 1 とを用意する。ここでは、工程①に示すように、ボンドウェーハ 1 の第一主表面 J 側に絶縁膜としてのシリコン酸化膜 2 を形成している。このシリコン酸化膜 2 の形成は、例えば、ウェット酸化により形成することができるが、CVD (Chemical Vapor Deposition) 等の方法を採用することも可能である。シリコン酸化膜の膜厚 t_a は、例えば MOS-FET 等の絶縁層として使用されることを考慮して、50 nm 以上 2 μ m 以下程度の値とする。なお、本実施形態においては、ベースウェーハ 7 (第一基板) もシリコン単結晶基板としているが、これを石英基板やサファイア基板などの絶縁性基板や、SiC, GaAs, InP などの化合物半導体基板とすることも可能である。また、シリコン酸化膜 2 の代わりに、シリコン窒化膜やシリコン酸化窒化膜などを絶縁膜として形成することもできる。

そして、工程①に示すように、ボンドウェーハ 1 の第一主表面 J、本実施形態ではシリコン酸化膜 2 が形成された主表面 J に、例えば水素イオンビームを照射することにより水素イオンを打ち込み、剥離用イオン注入層 4 を形成する。この剥離用イオン注入層 4 は、ウェーハの深さ方向の水素濃度プロファイルを測定したとき、100 nm 以上 2000 nm 以下の位置 (第一の深さ位置 d_a) に水素濃度のピーク位置が生ずるように形成するのがよい。該第一の深さ位置 d_a は、結合シリコン単結晶薄膜 5 の厚さに対応するものである。第一の深さ位置 d_a が 100 nm 未満では、十分な厚さの結合シリコン単結晶薄膜 5 (後述) が得られず、2000 nm を超えるとイオン注入装置を極めて高エネルギー化する必要が生ずる。例えば、最終的に得るべき SOI 層 15 (工程⑦) の平均厚さ t_c を 10 ~ 50 nm 程度に設定する場合、剥離用イオン注入層 4 は、ウェーハの深さ方向の水素濃度プロファイルを測定したとき、100 ~ 500 nm の位置 (第一の深さ位置 d_a : ただし、表面にシリコン酸化膜 2 が形成される場合は、そのシリコン酸化膜 2 を除いた深さで表す) に水素濃度のピーク位置が生ずるように形成するのがよい。なお、イオンの

打ち込み深さは、イオンのエネルギー（加速電圧）によって調整し、例えば水素イオンを用いる場合は、シリコン酸化膜の厚さ t_a を 50 nm に設定すると第一の深さ位置 d_a に剥離用イオン注入層 4 を形成するためのイオン注入のエネルギーを 10 keV ～ 60 keV 程度に調整するのがよい。

- 5 また、スムーズで平滑な剥離を行なうには、水素イオンの注入量（ドーズ量）が 2×10^{16} 個/ cm^2 ～ 1×10^{17} 個/ cm^2 、とすることが望ましい。 2×10^{16} 未満では正常な剥離が不能となり、 1×10^{17} 個/ cm^2 を超えるとイオン注入量が過度に増大するため工程が長時間化し、製造能率の低下が避けがたくなる。なお、剥離用イオン注入層を形成するためのイオンは、水素イオン及び希ガス（He、Ne、Ar、Kr、Xe）イオンよりなるイオン群から選ばれる少なくとも 1 種類である。例えば、水素イオンに代えて、ヘリウムイオン、ネオンイオンあるいはアルゴンイオンなどの希ガスイオンを打ち込むことにより剥離用イオン注入層 4 を形成してもよい。
- 10

- 次に、工程②に示すように、ボンドウエーハ（第二基板）1 の同じ第一主表面 J からイオンを打ち込むことにより、第一の深さ位置よりも浅い第二の深さ位置（ただし、表面にシリコン酸化膜 2 が形成される場合は、そのシリコン酸化膜 2 を除いた深さで表す）に濃度ピークを有するエッチストップ用イオン注入層 6 を形成する。エッチストップ用イオン注入層 6 は、剥離用イオン注入層 4 との重なりを十分に回避する観点から、第一の深さ位置より少なくとも 50 nm 浅い範囲に位置するように形成することが望ましい。本実施形態においては、最終的に得るべき SOI 層 15（工程⑦）の平均厚さ t_c が $10 \sim 50\text{ nm}$ 程度に設定されるが、 $50 \sim 300\text{ nm}$ の位置（第二の深さ位置 d_b ）に水素濃度のピーク位置が生ずるように形成するのがよい。この第二の深さ位置 d_b は、最終的に得られる SOI 層 15 の厚さに対応するものである。なお、上記第二の深さ位置 d_b にエッチストップ用イオン注入層 6 を形成するためのイオン注入エネルギーは、水素イオンを用い、 t_a を 50
- 15
- 20
- 25

nmに設定する場合、5k～40keV程度に調整するのがよい。このように、剥離用イオン注入に比べて低エネルギーで浅く注入することができるので、イオン注入深さのばらつきを一層低減することができ、ひいてはSOI層の膜厚均一性につながる。

- 5 エッチストップ用イオン注入層6を形成する際のイオン注入量は、 $1 \times 10^{15} / \text{cm}^2 \sim 4 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ とし、剥離用イオン注入層4を形成する際のイオン注入量よりも小さくするのがよい。 $1 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 未満では、後述のエッチストップ層6'（工程⑤）の形成が不完全となり、ひいては所期のエッチストップ効果が得られなくなる。また、イオン注入量が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ を超えると、エッチストップ用イオン注入層6においてボンドウェーハ（第二基板）1の望まざる剥離が生ずるおそれがある。

エッチストップ用イオン注入層6を形成するためのイオン種は、該エッチストップ用イオン注入層6をどのような方法により酸素高濃度層よりなるエッチストップ層とするかに応じて種々選択することができる。例えば、水素イオン、希ガスイオン及びシリコンイオンよりなるイオン群から選ばれる少なくとも1種類を用いることができる。図1の工程では、水素イオン（あるいは、水素に代えて、ヘリウムイオン、アルゴンイオンなどの希ガスイオンやシリコンイオンでもよい）を用いている。これらのイオン種は、主としてボンドウェーハ（第二基板）1中に、酸素を捕獲するための結晶欠陥（ダメージ）を形成する働きをなす。

- 20 上記のように剥離用イオン注入層4とエッチストップ用イオン注入層6とを形成したボンドウェーハ1とベースウェーハ7とは、洗浄液にて洗浄される。次に、工程③に示すように、両ウェーハ1，7をシリコン酸化膜2の形成側（すなわち第一主表面J，K側）にて貼り合わせる。そして、工程④に示すように、その積層体を400～600℃の低温にて熱処理することにより、ボンドウェーハ1は前記した剥離用イオン注入層4の概ね濃度ピーク位置において剥離し、ベースウェーハ1側

に残留した部分が結合シリコン単結晶薄膜 5 となる（剥離工程）。他方、エッチストップ用イオン注入層 6 は、イオン注入量が低く留められているため、熱処理による剥離を起さない。なお、剥離用イオン注入層 4 を形成する際のイオン注入量を高めたり、あるいは重ね合わせる面に対して予めプラズマ処理を行なって表面を活性化したりすることにより、剥離熱処理を省略できる場合もある。また、剥離後の残余のボンドウェーハ部分 3 は、剥離面を再研磨後、再びボンドウェーハ又はベースウェーハとして再利用が可能である。

次に、工程⑤に示すように、結合シリコン単結晶薄膜 5 中に、周囲部分よりも酸素濃度が高いエッチストップ層 6' を、上記のエッチストップ用イオン注入層 6 に基づいて形成する（エッチストップ層形成工程）。本実施形態では、結合シリコン単結晶薄膜 5 の表面からエッチストップ用イオン注入層 6 に向けて酸素を拡散させる酸素拡散工程を行なうことにより、該エッチストップ用イオン注入層 6 の酸素濃度を高めてエッチストップ層 6' を形成する、一種の内部酸化処理が行なわれている。この方法によると、水素イオンなどによるイオン注入により、一定密度の結晶欠陥（ダメージ）を、エッチストップ用イオン注入層 6 の形で集中形成しておくことにより、ウェーハ表面から拡散してきた酸素が該エッチストップ用イオン注入層 6 に形成された結晶欠陥に捕獲され、酸素高濃度層よりなるエッチストップ層 6' に容易に形成できる。

上記の方法によるエッチストップ層形成工程においては、酸素拡散工程を、具体的に酸素含有雰囲気中での熱処理にて行なうことができる。酸素含有雰囲気としては、例えば、酸素ガス雰囲気、窒素あるいはアルゴンに酸素を混合した酸素混合ガス、さらには酸素原子を含む化合物分子よりなるガス（例えば水蒸気）などからなるガス雰囲気を採用できる。

熱処理温度は、高温になるほど酸素の拡散速度が増し、エッチストップ層 6' の形成を促進することができる。しかし、熱処理温度が高すぎると、エッチストップ用

イオン注入層 6 中の結晶欠陥 (例えば、酸素誘起積層欠陥 (Oxygen-induced Stacking Fault) が成長して S O I 層 1 5' を貫通する可能性がある。これらの点を考慮して、酸素拡散のための熱処理温度は、700℃以上1000℃以下に設定することが望ましい。

- 5 なお、剥離直後の結合シリコン単結晶薄膜 5 上には、図 3 に示すように、イオン注入に伴うダメージ層 8 d が形成される。酸素拡散のための熱処理温度を上記のようにある程度高温に設定すると、このダメージ層 8 d から前記した結晶欠陥が成長しやすくなり、S O I 層を貫通したりする不具合がより生じやすくなる場合がある。そこで、酸素拡散工程に先立って、結合シリコン単結晶薄膜 5 の最表層部をエッチング除去しておけば、このような不具合がより生じにくくなる。この場合のエッチング代 d c は、ダメージ層 8 d を除去できる程度であればよく、例えば 0.05 ~ 0.15 μm 程度に設定するのが妥当である。具体的には、該エッチングを、フッ酸/硝酸などの混合酸エッチングや K O H や N a O H などのアルカリエッチング等による化学エッチング、もしくはイオンエッチングなどの気相エッチングを用いて
- 10 行なうことができる。

本実施形態では、このダメージ層 8 d を除去するための、従来のようなタッチポリッシュを行なわない。その結果、剥離後の結合シリコン単結晶薄膜 5 の膜厚分布がタッチポリッシュにより大幅に損なわれる懸念がなくなるため、その分、上記ダメージ層 8 d を除去するためのエッチング代も確保しやすいといえる。

- 20 酸素拡散熱処理は単独で行なってもよいが、他の目的の熱処理に兼用させることも可能である。例えば、最終的な S O I ウェーハを得るには、剥離工程が終了後、第一基板 7 と結合シリコン単結晶薄膜 5 とを強固に結合する結合熱処理 (本実施形態では、低温で実施される工程④の剥離熱処理後に、第一基板 7 と結合シリコン単結晶薄膜 5 とをシリコン酸化膜 2 を介して強固に結合する結合熱処理) が必要である。
- 25 この結合熱処理は、通常 1000℃以上1300℃以下の高温で行なわれるの

で、これを酸素拡散熱処理に兼用することも不可能ではないが、前述の通り、エッチストップ用イオン注入層 6 中の結晶欠陥の成長や、あるいは得られるエッチストップ層 6 のブロードニング防止の観点から、酸素拡散熱処理の温度は、これよりは多少低めに設定することが望ましいといえる。例えば、該結合熱処理に先立って、

5 これよりも低温で実施される結合シリコン単結晶薄膜の表面保護酸化熱処理（70℃以上1000℃以下）は、酸素拡散熱処理への兼用を図る上で好都合である。このとき、工程⑤に示すように、結合シリコン単結晶薄膜の表面には保護酸化膜 5a が形成される。

また、エッチストップ層 6' は酸素高濃度層として形成されるが、最終的には除去

10 されるものであって、シリコン酸化層 2 のような高い絶縁性は要求されない。従って、エッチストップ層 6' は、エッチング停止機能を十分に果たすことさえできればこと足り、その形成厚さ t_b （図 1 の⑥）は、例えば 2 nm 以上 50 nm 以下とすることが望ましい。形成厚さが 2 nm 未満の場合、エッチング停止機能が不十分となる場合があり、50 nm を超える形成厚さは、酸素拡散処理の長大化を招きやす

15 くなる。

エッチストップ層 6' は、最終的に SOI 層 15 として残すべき下地シリコン層へエッチングが進展するのを確実に止めることができなければならない。例えば、図 2 の①に示すように、エッチストップ用イオン注入層 6 を形成する際のイオン注入側となるボンドウェーハ 1 の第一主表面 J に、パーティクル P 等の異物が付着して

20 いると、その付着領域でイオン注入が妨げられ、得られるエッチストップ層に多数のピンホール 6h を生じ、ここからエッチング液が浸透して下地シリコン層が侵されてしまう可能性がある。この場合、②に示すように、ボンドウェーハ（第二基板）1 の第一主表面 J へのイオンの打ち込みと、該第一主表面 J の洗浄とを交互に繰り返して所定のドーズ量を注入する方法を採用することが有効である。すなわち、洗浄

25 によりパーティクル P 等の異物を除去しながら、イオンの打ち込みを反復して行な

うと、洗浄後のウェーハ表面の全く同じ位置にパーティクルPが再付着する可能性が極めて小さいことから、ピンホール6の発生確率を大幅に低減することができる。

また、洗浄を行なう代わりに、ボンドウエーハ（第二基板）1の第一主表面Jへのイオンの打ち込みを、角度を変えながら繰り返す方法を採用してもよい。すなわち、イオンビームを第一主表面Jに対して斜めに入射させることにより、パーティクルPの下側にもイオンビームを回りこませることができる。また、そのイオンの打ち込み角度又は方向を変えると、パーティクルPの影となる領域が第一主表面J上で変化しながらイオン打ち込みがなされる。その結果、イオン打ち込みされない領域が減少し、ピンホール6の発生確率を大幅に低減することができる。

- 10 図1に戻り、このようにしてエッチストップ層6'が形成されれば、工程⑥に示すように、酸化膜5aをフッ酸により除去した後、結合シリコン単結晶薄膜5のエッチストップ層6'よりも表層側の部分8を、酸素濃度差に基づいて選択エッチングすることにより、結合シリコン単結晶薄膜を減厚する。エッチング液としては、アルカリ性溶液、例えばNaOH、KOHあるいはTMAH（TetraMethyl Ammonium Hydroxide）等の水溶液を用いることができる。

- 20 エッチストップ層6'は前述の通りエッチストップ用イオン注入層6に基づいて形成されるものである。エッチストップ用イオン注入層6は、ボンドウエーハ（第二基板）1の貼り合わせ前に平坦性の良好なボンドウエーハ（第二基板）1の主表面Jを基準として形成され、また、剥離用イオン注入層4よりも浅い位置に形成されるため、イオンの打ち込み深さのばらつきが生じにくい。従って、エッチストップ層6'は、鏡面研磨等により仕上げられた基板主表面の平坦性を反映した急峻かつピーク位置深さが一定に揃った酸素濃度プロファイル形状を有したものとなる。その結果、該酸素濃度プロファイル形状に対応して、ウェーハ内のみならずウェーハ間においても、膜厚分布が極めて良好なSOI層15を得ることができる。具体的
- 25 には、SOI層15の平均厚さ t_c が10～50nm程度の超薄膜に設定されてい

るにもかかわらず、SOI層15の膜厚均一性を、同一ウェーハ内の膜厚の標準偏差値にて例えば0.4nm以下に確保でき、図5に示すように、同一仕様のウェーハ間の膜厚 t ($=t_1, t_2, t_3$)の標準偏差値 σ_2 にて2nm以下に確保することもできる。特に、SOI層15が20nm以下(例えば10nm)に超薄膜化
5 される場合でも、ウェーハ内及びウェーハ間の膜厚バラツキを、十分実用に耐える範囲にまで軽減することが可能となる。

上記選択エッチングによる減厚工程の後、工程⑦に示すように、SOI層15上に残留しているエッチストップ層6'をエッチング除去することにより、SOIウェーハ50が得られる。エッチストップ層6'は酸素高濃度層、例えば酸化シリコン層
10 であり、弗酸を用いて簡単にエッチング除去できる。また、ドライエッチング(気相エッチング)によりエッチストップ層6'を除去してもよい。

なお、減厚工程の後(エッチストップ層6'を除去した後)、SOI層15の表面をさらに平坦化する平坦化熱処理を行なうことができる。この平坦化熱処理は、アルゴンガス等の不活性ガスや水素ガスあるいはこれらの混合ガス中にて1100~
15 1200℃程度の温度で1~2時間程度の短時間で行なうことができ、前述の結合熱処理と兼ねて行なうことができる。具体的には、一般的なバッチ式の縦型炉や横型炉といったヒーター加熱式の熱処理炉を用いて行なうことができるほか、ランプ加熱等により熱処理を数秒から数分程度で完結する枚葉式RTA装置を用いて行なうこともできる。

また、エッチストップ層6'は、エッチストップ用イオン注入層6に基づいて形成したものであるから、前述の弗酸等によるエッチング除去後においても、図4に示すように、イオン注入時のダメージ層15aが若干残留している可能性がある。そこで、図4に示すように、減厚工程の後、SOI層15の最表層部を熱酸化した後、形成された熱酸化膜15sを弗酸等によりエッチング除去する犠牲酸化処理を行な
20 うと、上記のダメージ層15aを効果的に除去することができる。このダメージ層

15 a は、イオン注入量及び注入深さの小さいエッチストップ用イオン注入層 6 の痕跡として形成されるものであるから、これを除去するための熱酸化膜 15 s も 5 nm 以上 100 nm 以下程度にごく薄く形成すれば十分である。従って、熱酸化膜 15 s の形成・除去が S O I 層 15 の膜厚分布に与える影響も小さくて済む。また、
5 このような犠牲酸化処理は、最終的な S O I 層 15 の厚さを微調整する目的で行なうこともできる。

以上、第一発明の実施形態を説明したが、第一発明はこれに限定されるものではなく、特許請求の範囲の記載に基づく技術的範囲を逸脱しない限り、種々の変形ないし改良を付加することができる。例えば、図 6 の工程①～③に示すように、ベースウェーハ 7 の側にのみシリコン酸化膜 2 を形成するようにしてもよい（工程④以降は図 1 と同じ）。また、図 7 の工程①～③に示すように、ベースウェーハ 7 とボン
10 ドウェーハ 1 との双方の貼り合わせ面（第一主表面 J, K）にシリコン酸化膜 2 a, 2 b を形成することもできる（工程④以降は図 1 と同じ）。

また、エッチストップ層形成工程においては、酸素イオンを用いて結合シリコン
15 単結晶薄膜中にエッチストップ用イオン注入層を形成することもできる。図 8 は、その工程の一例を示す。工程①は図 1 と同一である。そして、工程②において、酸素イオンを用いてエッチストップ用イオン注入層 6 0 を形成する。エッチストップ用イオン注入層 6 0 は、50 nm 以上 300 nm の位置（第二の深さ位置 d b）に酸素濃度のピーク位置が生ずるように形成するのがよい。また、イオン注入量は、
20 $1 \times 10^{15} / \text{cm}^2 \sim 4 \times 10^{17} / \text{cm}^2$ とするのがよい。

この方法によると、酸素イオン注入により、エッチストップ用イオン注入層 6 0 を最初から酸素高濃度層として形成できる利点がある。ただし、シリコンと酸素との化学的結合を強めて、選択エッチング性の良好なエッチストップ層を得るには、エッチストップ用イオン注入層 6 0 に熱処理を施すことが望ましい。この熱処理温
25 度は、900～1300℃の範囲で行なうのがよい。900℃以下では選択エッチ

ング性改善効果が小さく、1300℃を超えると金属汚染やスリップ転位発生の問題を生ずる。例えば、該熱処理は、工程⑤に示すように、図1の酸素拡散熱処理と同じ700～1000℃で、単独で行なうことができる。このとき、熱処理雰囲気は、不活性ガス(Ar)雰囲気とすることもできるし、エッチストップ用イオン注入層60にさらに酸素を濃化するために、酸素含有雰囲気を用いた酸素拡散処理(酸素のいわば追加拡散処理である)としてもよい。他方、上記熱処理を、剥離工程の終了後に行う結合熱処理、又は該結合熱処理に先立ちそれよりも低温で実施される前述の表面保護酸化熱処理に兼用することもできる。この場合、当然、図8において、工程⑤に示す酸素拡散熱処理を省略してもよい。なお、工程⑥以降は図1と同じである。

また、酸素を捕獲する結晶欠陥密度を高めるため、図9に示すように、水素イオン、希ガスイオン、又はシリコンイオンの少なくとも1種類を用いて予備イオン注入層6形成し、さらにその予備イオン注入層6に酸素イオンを打ち込むことによりエッチストップ用イオン注入層60とすることもできる。この後、さらに酸素拡散熱処理を行ってもよい。

さらに、エッチストップ層形成工程においては、ゲルマニウムイオンを用いて結合シリコン単結晶薄膜中にエッチストップ用イオン注入層を形成することもできる。エッチストップ用イオン注入層はシリコン-ゲルマニウム層となり、特定のエッチング液に対するシリコン層へのエッチストップ層として直ちに機能しうる。シリコン-ゲルマニウム層に対してシリコン層を選択的にエッチングするためのエッチング液としては、KOHと $K_2Cr_2O_7$ とプロパノールとの混合溶液が適当である(参考文献; Applied Physics Letters, 56 (1990), 373 - 375)。また、シリコン-ゲルマニウム層からなるエッチストップ層は、Siに対してSiGeを選択エッチングするためのエッチング液を用いて除去でき、具体的には、HFと H_2O_2 と CH_3COOH との混合溶液を用いることができる(参考文献; Journal of

Electrochemical Society, 138 (1991) 202-204)。また、ドライエッチングを用いて選択エッチングを行なうことも可能である。

(実施の形態2)

図11は第二発明に係るSOIウェーハの製造方法の基本的な実施形態を説明するものである。なお、実施の形態1と共通する工程も多いので、可能な変形態様も含め、実施の形態1と共通する部分についての詳細な説明は省略し、相違点について説明する。まず、第一基板としてのベースウェーハ7（工程③参照）と、シリコン単結晶よりなる第二基板としてのボンドウェーハ1（工程①参照）とを用意する。ここでは、ボンドウェーハ2の第一主表面J側に絶縁膜としてのシリコン酸化膜2を形成している。このシリコン酸化膜2の形成は、例えば、ウェット酸化により形成することができるが、CVD（Chemical Vapor Deposition）等の方法を採用することも可能である。シリコン酸化膜の膜厚 t_x は、例えばMOS-FET等の絶縁層として使用されることを考慮して、50nm以上2 μ m以下程度の値とする。なお、本実施形態においては、ベースウェーハ7（第一基板）もシリコン単結晶基板としているが、これを石英基板やサファイア基板などの絶縁性基板や、SiC、GaAs、InPなどの化合物半導体基板とすることも可能である。また、シリコン酸化膜2の代わりに、シリコン窒化膜やシリコン酸化窒化膜などを絶縁膜として形成することもできる。

そして、工程①において、ボンドウェーハ1の第一主表面（貼り合せ面）Jからシリコン酸化膜2を通して水素イオンを打ち込むことにより、SOI層形成厚さに対応した深さ位置（ただし、表面にシリコン酸化膜2が形成される場合は、そのシリコン酸化膜2を除いた深さで表す）dbにエッチストップ用イオン注入層6を形成する。本実施形態においては、最終的に得るべきSOI層15（工程⑥）の平均厚さ t_c が10～50nm程度に設定されるが、エッチストップ用イオン注入層6は、50～300nmの深さ位置dbに水素濃度のピーク位置が生ずるように形成

するのがよい。この深さ位置 d_b は、最終的に得られる SOI 層 15 の厚さに対応するものである。なお、上記深さ位置 d_b にエッチストップ用イオン注入層 6 を形成するためのイオン注入のエネルギーは、水素イオンを用い、かつシリコン酸化膜の膜厚 t_x を 50 nm に設定する場合、 5 keV 以上 40 eV 以下程度に調整するのがよい。

エッチストップ用イオン注入層 6 を形成する際のイオン注入量は、 $1 \times 10^{15} / \text{cm}^2 \sim 4 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ とするのがよい。 $1 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 未満では、後述のエッチストップ層 6' (工程②) を形成するためのダメージの形成が不完全となり、十分なエッチストップ効果を有する酸素高濃度層が得られなくなる。また、イオン注入量が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ を超えると、エッチストップ用イオン注入層 6 において結合シリコン単結晶薄膜 5 の望まざる剥離が生ずるおそれがある。

エッチストップ用イオン注入層 6 を形成するためのイオン種は、該エッチストップ用イオン注入層 6 を、どのような方法により酸素高濃度層よりなるエッチストップ層 6' とするかに応じて種々選択することができる。例えば、水素イオン、希ガス (He、Ne、Ar、Kr、Xe) イオン、シリコンイオン及び酸素イオンよりなるイオン群から選ばれる少なくとも 1 種類を用いることができる。図 11 の工程では、水素イオンを用いている。これらのイオン種は、主としてボンドウェーハ (第二基板) 1 中に、酸素を捕獲するための結晶欠陥 (ダメージ) を形成する働きをなす。

次に、工程②に示すように、エッチストップ用イオン注入層 6 に向けて酸素を拡散させる酸素拡散工程を行なうことにより、該エッチストップ用イオン注入層 6 の酸素濃度を高めてエッチストップ層 6' を形成する (エッチストップ層形成工程)。すでに、水素イオンによるイオン注入により、一定濃度の結晶欠陥が、エッチストップ用イオン注入層 6 の形で集中形成されている。そして、ウェーハ表面から拡散してきた酸素は、該エッチストップ用イオン注入層 6 に形成された結晶欠陥 (ダメ

ージ)に捕獲され、酸素高濃度層よりなるエッチストップ層6'に容易に形成できる。この処理は、一種の内部酸化処理であるともいえる。エッチストップ層形成工程における酸素拡散工程は、実施の形態1と同様に実施できる。

上記のようにエッチストップ層6'を形成したボンドウエーハ1とベースウェーハ7とは、洗浄液にて洗浄される。次に、工程③に示すように、両ウェーハ1, 7をシリコン酸化膜2の形成側(すなわち第一主表面J, K側)にて貼り合わせ、さらに、800℃~1250℃にて結合熱処理を行なう。次に工程④に示すように、エッチストップ層6'を含んだSOI層となるべき結合シリコン単結晶薄膜5を残して、ボンドウエーハ1を減厚する。具体的には、エッチストップ層6'の上にエッチング用のシリコン層8を0.1~10μm程度残して、ボンドウエーハ1を平面研削盤等により機械研削し、必要に応じてさらに研磨する。その後、工程⑤に示すように、エッチング用のシリコン層8を選択エッチングによりエッチストップ層6'の位置までエッチバックする。

エッチストップ層6'は酸素高濃度層として形成されるが、最終的には除去されるものであって、シリコン酸化層2のような完全な絶縁性は要求されない。従って、エッチストップ層6'は、エッチング停止機能を十分に果たすことさえできればこと足り、その形成厚さtbは、例えば2nm以上とすることが望ましい。形成厚さが2nm未満の場合、エッチング停止機能が不十分となる場合がある。また、エッチストップ層6'は、図2の②に示すように、ここでもボンドウエーハ(第二基板)1の第一主表面Jへのイオンの打ち込みと、該第一主表面Jの洗浄とを交互に繰り返して所定のドーズ量を注入する方法を採用することが有効である。また、洗浄を行なう代わりに、ボンドウエーハ(第二基板)1の第一主表面Jへのイオンの打ち込みを、角度を変えながら繰り返す方法を採用してもよい。

図11に戻り、このようにしてエッチストップ層6'が形成されれば、工程⑤に示すように、結合シリコン単結晶薄膜5のエッチストップ層6'よりも表層側の部分8

を、酸素濃度差に基づいて選択エッチングすることにより、結合シリコン単結晶薄膜を減厚する。エッチング液としては、アルカリ性溶液、例えばNaOH、KOHあるいはTMAH (TetraMethyl Ammonium Hydroxide) 等の水溶液を用いることができる。

- 5 エッチストップ層6'は前述の通りエッチストップ用イオン注入層6に基づいて形成されるものである。エッチストップ用イオン注入層6は、10～50nm程度のSOI層15の平均厚さ t_c に対応した浅い位置に形成されるため、イオンの打ち込み深さのばらつきが生じにくい。従って、エッチストップ層6'は、比較的急峻でピーク位置深さが一定に揃った酸素濃度プロファイル形状を有したものとなる。
- 10 その結果、該酸素濃度プロファイル形状に対応して、ウェーハ内のみならずウェーハ間においても、膜厚分布が極めて良好なSOI層15を得ることができる。具体的には、SOI層15の平均厚さ t_c が10～50nm程度の超薄膜に設定されているにもかかわらず、得られるSOI層15の膜厚均一性を、同一ウェーハ内の膜厚の標準偏差値にて例えば0.4nm以下に確保でき、図5に示すように、同一仕
- 15 様のウェーハ間の膜厚 t_c ($= t_1, t_2, t_3$) の標準偏差値 σ_2 にて2nm以下に確保することもできる。特に、SOI層7が20nm以下 (例えば10nm) に超薄膜化される場合でも、ウェーハ内及びウェーハ間の膜厚バラツキを、十分実用に耐える範囲にまで軽減することが可能となる。

次に、工程⑥に示すように、エッチストップ層6'をエッチングにより除去する。

- 20 エッチストップ層6'は、酸素高濃度層、例えば酸化シリコン層であり、弗酸を用いて簡単にエッチング除去できる。また、ドライエッチング (気相エッチング) によりエッチストップ層6'を除去してもよい。なお、エッチストップ層6'を除去した後、実施の形態1と同様のSOI層15の表面をさらに平坦化する平坦化熱処理を行なうことができる。

- 25 上記の実施態様では、工程②の酸素拡散熱処理の後で、工程③の貼り合せ及び結

合熱処理を行ったが、工程①にてエッチストップ用イオン注入層 6' を形成後、酸素拡散熱処理を行わずに工程③の貼り合せ及び結合熱処理を実施し、さらに工程④の研削・研磨による減厚工程を行なった後、工程②と同様の酸素拡散熱処理を行うようにしてもよい。また、図 11 の工程⑥の後、SOI 層 15 の最表層部を熱酸化した後、形成された熱酸化膜 15 s を弗酸等によりエッチング除去する犠牲酸化処理を行なうことができる。

以上、第二発明の実施形態を説明したが、第二発明はこれに限定されるものではなく、特許請求の範囲の記載に基づく技術的範囲を逸脱しない限り、種々の変形ないし改良を付加することができる。例えば、ベースウェーハ 7 の側にのみシリコン酸化膜 3 を形成するようにしてもよいし、ベースウェーハ 7 とボンドウェーハ 1 との双方の貼り合わせ面にシリコン酸化膜を形成することもできる。

また、エッチストップ層形成工程においては、酸素イオンを用いて結合シリコン単結晶薄膜中にエッチストップ用イオン注入層を形成することもできる。この場合、図 11 の工程①において、酸素イオンを用いてエッチストップ用イオン注入層 6 を形成する。エッチストップ用イオン注入層 6 は、50～300 nm の深さ位置 d b に酸素濃度のピーク位置が生ずるように形成するのがよい。また、イオン注入量は、 $1 \times 10^{15} / \text{cm}^2 \sim 4 \times 10^{17} / \text{cm}^2$ とするのがよい。

酸素イオン注入により、十分な酸素濃度を有するエッチストップ用イオン注入層 6 が形成できる場合は、工程②の酸素拡散熱処理は省略できる。また、酸素雰囲気

に代えて、アルゴンなどの不活性ガス雰囲気

で熱処理を行うこともできる。他方、酸素拡散熱処理を実施すれば、エッチストップ用イオン注入層 6 の酸素濃度をさらに高めつつ、これをエッチストップ層 6' に転化させることができる。すなわち、酸素イオン注入と酸素拡散熱処理とを併用することによって、エッチストップ層 6' の酸素濃度プロファイルを、よりピーク酸素濃度が高く急峻なものとする

ことができ、ひいては結合シリコン単結晶層 5 を減厚するための選択エッチング性を高める

ことができる。

いずれの場合も、酸素イオン注入後の熱処理は、注入された酸素イオンとシリコン原子との反応を促し、エッチストップ層 6' を安定化させて選択エッチング効果を高める働きもなす。なお、工程②の形の熱処理を省略する場合は、工程③の結合熱

5 処理が、該熱処理も兼用することになる。

また、酸素を捕獲する結晶欠陥密度を高めるため、水素イオン、ヘリウムイオン及びアルゴンイオンのいずれかを用いて予備イオン注入し、さらにその予備イオン注入層に酸素イオンを打ち込むことにより最終的なエッチストップ用イオン注入層とすることもできる。

- 10 次に、ボンドウェーハ 1 の減厚工程を、例えば特許第 2 6 0 8 3 5 1 号に開示された周知の E L T R A N (商標名) 法にて行なうこともできる。図 1 2 に、その例を示す。まず、工程①に示すように、ボンドウェーハ 1 の第一主表面側に周知の陽極化成処理により多孔質シリコン層 3 1 を形成後、該多孔質シリコン層 3 1 上に S O I 層となるべきシリコンエピタキシャル層 3 7 を気相成長する。さらに、このシリコンエピタキシャル層 3 7 の表面にシリコン酸化膜 2 を形成し、その表面側からイオン注入することにより、エッチストップ用イオン注入層を形成し、さらに酸素拡散熱処理によりエッチストップ層 6' となす。そして、シリコン酸化膜 2 の表面とベースウェーハ 7 とを貼り合わせた後、結合熱処理工程を行なう。次に、工程②に示すように、ボンドウェーハ 1 の多孔質シリコン層 3 1 よりも上に位置する部分を
- 15 平面研削等により除去または、多孔質層に流体を噴射して剥離する。そして、工程③に示すように、残存する多孔質シリコン層 3 1 と、シリコンエピタキシャル層 3 7 のエッチストップ層 6' よりも上の部分を選択エッチングする。以降の工程④及び⑤は、図 1 1 の工程⑤及び⑥と同様である。なお、E L T R A N 法を用いる場合においても、エッチストップ層 6' を形成する酸素拡散熱処理は、結合熱処理工程の後
- 20 25 に、多孔質シリコン層のみを除去し、シリコンエピタキシャル層 3 7 を露出させた

状態で行なうこともできる。

(実施の形態3)

図13は第三発明に係わるSOIウエーハの製造方法の基本的な実施形態を説明するものである。なお、実施の形態1及び実施の形態2と共通する工程も多いので、

5 可能な変形態様も含め、実施の形態1及び実施の形態2と共通する部分についての詳細な説明は省略し、相違点について説明する。まず工程③に示すように、第一基板としてのベースウエーハ7と、工程①に示すシリコン単結晶からなる第二基板と

としてのボンドウエーハ1とを用意する。ここでは、工程①に示すように、ボンドウエーハ1の第一主表面J側に絶縁膜としてのシリコン酸化膜2を形成している。こ

10 のシリコン酸化膜2の形成は、例えば、ウェット酸化やドライ酸化により形成することができるが、CVD (Chemical Vapor Deposition) 等の方法を採用することも可能である。シリコン酸化膜の膜厚は、例えばMOS-FET等の絶縁層として使用

されることを考慮して、50nm以上2 μ m以下程度の値とする。なお、本実施形態においては、ベースウエーハ7 (第一基板) もシリコン単結晶基板としている

15 が、これを石英基板やサファイア基板などの絶縁性基板や、SiC、GaAs、InPなどの化合物半導体基板とすることも可能である。また、シリコン酸化膜2の代わりに、シリコン窒化膜やシリコン酸化窒化膜などを絶縁膜として形成することも

もできる。なお、ベースウエーハ7に絶縁性基板を用いる場合には、シリコン酸化膜2の形成を省略する場合もある。

20 そして、工程①に示すように、シリコン酸化膜2の主表面に、後述のパターン層20となるべきパターン形成用層21を所定の厚さとなるようにCVD等にて形成

する。このパターン形成用層21は、該パターン形成用層21と積層界面をなす層がシリコン (ボンドウエーハ) や酸化シリコン等のシリコン酸化物 (絶縁膜) にて

構成されることなどを考慮して、例えば、シリコン窒化膜にて構成するのがよい。

25 このようにシリコン窒化膜をパターン形成用層21としてCVD等にて形成するこ

とで、その表面をよりよく第一主表面 J の良好な平坦性を反映したものとする
ことができる。さらに、後述する、パターン形成用層 21 を基に形成されるパターン層
20 を除去する際にも、熱燐酸にて簡便に確実にパターン層のみエッチング除去す
ることができる。また、パターン形成用層 21 としては、シリコン窒化膜のほか、
5 シリコン酸化膜やレジスト膜を用いることもできる。このようにパターン形成用層
21 を形成した後、ボンドウエーハ 1 の第一主表面 J、本実施形態ではパターン形
成用層 21 に加えてシリコン酸化膜 2 が形成された第一主表面 J に、例えば水素イ
オンビームを照射することにより水素イオンを打ち込み、剥離用イオン注入層 4 を
形成する。この剥離用イオン注入層 4 の形成条件は、実施の形態 1 と同様、ウェー
10 ハの深さ方向の水素濃度プロファイルを測定したとき、100 nm 以上 2000 nm
以下の位置（第二の深さ位置 d a）に水素濃度のピーク位置が生ずるように形成
するのがよい。また、スムーズで平滑な剥離を行なうには、水素イオンの注入量（ド
ーズ量）を 2×10^{16} 個/cm² ~ 1×10^{17} 個/cm² とするのが望ましい。

次に工程②に示すように、ボンドウエーハ 1 の第一主表面 J 上にて最表層をなす
15 所定のパターンおよび層厚のパターン層 20 を形成する。このパターン層 20 の形
成は、公知のフォトリソグラフィーやフォトエッチングを用いたパターンニング処
理にて形成することができる。また、上記のようにパターン形成用層 21 の表面を、
第一主表面 J の良好な平坦性を反映したものとして形成しておけば、パターン層 2
0 も当然、その平坦性を反映したものとすることができる。

そして、工程②に示すように、ボンドウエーハ 1 の第一主表面 J 側から、つまり、
本実施形態では、パターン層 20 およびシリコン酸化膜 2 のそれぞれの表面に、例
えば水素イオンビームを照射することにより水素イオンを打ち込み、第二の深さ位
置よりも浅い第一の深さ位置（第二の深さ位置同様、第一主表面 J からの深さ）に
それぞれ濃度ピークを有する、パターン層 20 のパターンに応じて第一主表面 J か
25 らの形成深さ位置が異なるエッチストップ用イオン注入層 6 を形成する。このエッ

チストップ用イオン注入層 6 を形成するための、第一の深さ位置の深さの差およびその深さ自体は、パターン層 20 の膜厚、シリコン酸化膜 2 の膜厚や、照射するイオンのエネルギーにより調整される。このようにして、種々の所定の第一の深さ位置を有するエッチストップ用イオン注入層 6 が、面内方向に間断なく形成される。

- 5 また、最終的に得られる SOI 層 15 における最大厚さとなる領域の形成厚さを十分に確保する観点から、第一の深さ位置において最も深い位置が、第二の深さ位置よりも少なくとも 50 nm 浅い範囲に位置するように形成することが望ましい。本実施形態においては、最終的に得るべき SOI 層 15 (工程⑦) における最大厚さとなる領域の平均厚さ t_c が 10 ~ 50 nm 程度に設定されるが、第一の深さ位置
- 10 において最も深い位置 d_b が 50 ~ 300 nm の位置になるように形成するのがよい。また、エッチストップ用イオン注入層 6 を形成する際のイオン注入量は、 1×10^{15} 個/cm² ~ 4×10^{16} 個/cm² とするのがよい。また、エッチストップ用イオン注入層 6 を形成するためのイオン種も実施の形態 1 と同様である。

- このようにしてボンドウエーハ 1 中に、剥離用イオン注入層 4 とエッチストップ
- 15 用イオン注入層 6 とが形成される。また、図 13 のように、パターン形成用層 21 が形成された状態で、まず剥離用イオン注入層 4 を形成した場合、剥離用イオン注入層を形成する際に、例えば、パターン形成用層 21 の表面に異物等の付着による表面汚染や、面荒れ等が発生したとしても、最終的にパターン層 20 の除去とともに取り除かれる。その結果、後述のボンドウエーハとベースウエーハとを結合させる
- 20 際にも良好にその結合を行なうことができる。

- 上記のように剥離用イオン注入層 4 とエッチストップ用イオン注入層 6 とを形成したボンドウエーハ 1 とベースウエーハ 7 とは、ボンドウエーハ 1 よりパターン層 20 を、例えばエッチングにて除去した後、洗浄液にて洗浄される。次に、工程③に示すように、両ウエーハ 1、7 をシリコン酸化膜 2 の形成側 (すなわち第一主表面 J、K 側) にて貼り合わせる。そして、工程④に示すように、その積層体を 400
- 25

～600℃の低温にて熱処理することにより、ボンドウエーハ1は、前記した剥離用イオン注入層4の概ね濃度ピーク位置において剥離し、ベースウエーハ1側に残留した部分が結合シリコン単結晶薄膜5となる（予備減厚工程）。他方、エッチストップ用イオン注入層6は、イオン注入量が低く留められているため、熱処理による

5 剥離を起こさない。

次に、工程⑤に示すように、結合シリコン単結晶薄膜5中に、周囲部分よりも酸素濃度が高いエッチストップ層6'を、上記のエッチストップ用イオン注入層6に基づいて形成する（エッチストップ層形成工程）。本実施形態では、結合シリコン単結晶薄膜5の表面から、つまり、ボンドウエーハ（第二基板）の厚さ方向において、

10 第二のシリコン層61側の表面から、エッチストップ用イオン注入層に向けて酸素を拡散させる酸素拡散工程を行うことにより、該エッチストップ用イオン注入層6の酸素濃度を高めてエッチストップ層6'を形成する、一種の内部酸化処理が行なわれている。この方法によると、水素イオンなどによるイオン注入により、一定濃度の結晶欠陥（ダメージ）をエッチストップ用イオン注入層6の形で集中形成しておくことにより、ウエーハ表面から拡散してきた酸素が該エッチストップ用イオン注
15 入層6に形成された結晶欠陥に捕獲され、酸素高濃度層としてエッチストップ層6'を容易に形成できる。

上記の方法によるエッチストップ層形成工程においては、酸素拡散工程を、実施の形態1と同様、酸素含有雰囲気中での熱処理にて行うことができる。酸素拡散のための熱処理温度は、700℃以上1000℃以下に設定することが望ましい。また、酸素拡散工程に先立って、結合シリコン単結晶薄膜5の最表層部をエッチング除去することができる。この場合のエッチング代dcは、図15に示すダメージ層8dを除去できる程度であればよく、例えば0.1～0.15μm程度に設定する。

本実施形態では、このダメージ層8dを除去するための、従来のようなタッチポリッシュを行なわない。その結果、剥離後の結合シリコン単結晶薄膜5の膜厚分布
25

がタッチポリッシュにより大幅に損なわれる懸念がなくなる。その分、上記ダメージ層 8 d を除去するためのエッチング代も確保しやすい。また、酸素拡散熱処理は、単独で行なってもよいが、実施の形態 1 と同様、他の目的の熱処理を兼用させることも可能である。また、エッチストップ層 6' の形成厚さは、例えば、2 nm 以上 50 nm 以下とすることが望ましい。

エッチストップ層 6' は、最終的に SOI 層 15 として残すべき下地シリコン層へエッチングが進展するのを確実に止めることができなければならない。例えば、図 14 の①に示すように、エッチストップ用イオン注入層 6 を形成する際のイオン注入側となるボンドウエーハ 1 の第一主表面 J 上の表面に、パーティクル P 等の異物が付着していると、その付着領域でイオン注入が妨げられ、得られるエッチストップ層に多数のピンホール 6 h を生じ、ここからエッチング液が浸透して下地シリコン層が侵されてしまう可能性がある。この場合、②に示すように、ボンドウエーハ（第二基板）1 の第一主表面 J へのイオンの打ち込み工程と、該第一主表面 J 上の表面の洗浄工程とを交互に繰り返す方法が有効である。すなわち、洗浄によりパーティクル P 等の異物を除去しながら、イオンの打ちこみを反復して行なうと、洗浄後のウエーハ表面の全く同じ位置にパーティクル P が再付着する可能性が極めて小さいことからピンホール 6 の発生確率を大幅に低減することができる。

図 13 に戻り、このようにしてエッチストップ層 6' が形成されれば、工程⑥に示すように、酸化膜 5 a を弗酸により除去した後、結合シリコン単結晶膜 5 のエッチストップ 6' よりも表層側の部分、つまり、第二のシリコン層 6 1 の少なくともエッチストップ層 6' と接する領域を、酸素濃度差に基づいて選択エッチングすることにより、結合シリコン単結晶薄膜 5 を減厚する。本実施の形態 3 においても、SOI 層 15 における最大膜厚となる領域の平均厚さ t_c が 10 ~ 50 nm 程度の超薄膜に設定されているにも係わらず、SOI 層 15 の膜厚均一性を、同一ウエーハ内の膜厚の標準偏差にて例えば 0.4 nm 以下に確保でき、図 5 に示すように、同一仕

様のウエーハ間の膜厚 t ($= t_1, t_2, t_3$) の標準偏差値 σ_2 にて 2 nm 以下に確保することができる。特に、SOI 層 15 における最大膜厚となる領域の膜厚が 50 nm 以下、さらには 20 nm 以下 (例えば 10 nm) に超薄膜化される場合でも、ウエーハ内及びウエーハ間の膜厚のばらつきを、十分実用に耐える範囲にまで軽減することが可能となる。

上記選択エッチングによるエッチング減厚工程の後、工程⑦に示すように SOI 層 15 上に残留しているエッチストップ層 6' をエッチング除去することにより、SOI ウエーハ 50 が得られる。エッチストップ層 6' は酸素高濃度層、例えば酸化シリコン層であり、弗酸を用いて簡単にエッチング除去できる。また、図 20B のような形態となる SOI 層とする場合には、エッチストップ層 6' とシリコン酸化膜 2 とが当接した形となる場合があり、その場合は、必要に応じてエッチストップ層 6' を除去すればよい。

なお、エッチング減厚工程の後 (エッチストップ層 6' を除去した後)、実施の形態 1 と同様、SOI 層 15 の表面をさらに平坦化する平坦化熱処理を行なうことができる。以上の工程により作製された SOI ウエーハは、面内に厚さの異なる SOI 層を有し、しかも膜厚均一性の優れたものとなる。この様な SOI ウエーハを用いてデバイスを作製すれば、1 チップ内に膜厚の異なる SOI 層を混在させることが容易であり、作製するデバイスの多様化に役立てることができる。

以上、第三発明の一実施形態を説明したが、第三発明はこれに限定されるのではなく、特許請求の範囲の記載に基づく技術的範囲を逸脱しない限り、種々の変形ないし改良を付加することができる。例えば、ベースウエーハの第一主表面にのみシリコン酸化膜を形成するようにしてもよい。また、ベースウエーハとボンドウエーハとの双方の貼り合わせ面 (第一主表面 J、K) にシリコン酸化膜を形成することもできる。

また、エッチストップ用イオン注入層形成工程においては、酸素イオンを用いて

結合シリコン単結晶薄膜中にエッチストップ用イオン注入層を形成することもできる。図18は、その工程の一例を示す。工程①は図13と同一である。そして工程②において、酸素イオンを用いてエッチストップ用イオン注入層62を形成する。エッチストップ用イオン注入層62は、50nm以上500nm以下の位置（深さ位置db）に酸素濃度のピーク位置が生じるように形成するのがよい。また、イオン注入量は、 1×10^{15} 個/cm²～ 4×10^{17} 個/cm²とするのがよい。

この方法によると、酸素イオン注入により、エッチストップ用イオン注入層62を最初から酸素高濃度層として形成できる利点がある。ただし、シリコンと酸素との化学的結合を強めて、選択エッチング性の良好なエッチストップ層を得るには、エッチストップ用イオン注入層62を含むボンドウエーハに熱処理を施すことが望ましい。この熱処理温度は、900～1300℃の範囲で行なうのがよい。900℃以下では選択エッチング性改善効果が小さく、1300℃を超えると金属汚染やスリップ転位発生の問題が生じる。例えば、該熱処理は、工程⑤に示すように、図13の酸素拡散熱処理と同様に900～1000℃で、単独で行なうことができる。このとき、熱処理雰囲気は、不活性ガス（Ar）雰囲気とすることもできるし、エッチストップ用イオン注入層60にさらに酸素を濃化するために、酸素雰囲気を用いた酸素拡散処理（酸素のいわば追加拡散処理である）としてもよい。他方、上記熱処理を、結合熱処理、又は該結合処理に先立ちそれよりも低温で実施される前述の表面保護酸化熱処理に兼用することもできる。この場合、当然、図18において、工程⑤に示す酸素拡散熱処理を省略してもよい。なお、工程⑥以降は、図13と同じである。

また、酸素イオンを捕獲する結晶欠陥密度を高めるため、図22に示すように、水素イオン、希ガスイオン、またはシリコンよりなるイオン群から選ばれる1種類を用いて予備イオン注入層66を形成し、さらに、その予備イオン注入層66に酸素イオンを打ち込むことによりエッチストップ用イオン注入層6とすることもでき

る。この後、さらに酸素拡散処理を行なってもよい。

さらに、エッチストップ用イオン注入層形成工程においては、実施の形態 1 と同様に、ゲルマニウムイオンを用いて結合シリコン単結晶薄膜中にエッチストップ用イオン注入層を形成することもできる。

- 5 また、図 13 においては、工程①において剥離用イオン注入層 4 を形成し、その後、工程②にてエッチストップ用イオン注入層 6 を形成する態様であったが、この形成順序を入れ替えても勿論よく、その一例を図 23 に示す。まず、工程①において、パターン形成用層を形成した後、パターン層 20 を形成する。そして、まずエッチストップ用イオン注入層 6 を形成する。次に、工程②にて、パターン層 20 を
10 エッチング等にて除去した後、剥離用イオン注入層 4 を形成する。その後の工程③以降は、図 13 と同様の工程となる。

- さらに、剥離用イオン注入層およびエッチストップ用イオン注入層の形成態様については、次のように行なうこともできる。図 24 に示すように、工程①において、パターン形成用層を形成した後、パターン層 20 を形成する。そして、エッチストップ用イオン注入層 6 を形成する。その後、引き続き、剥離用イオン注入層 4 を形成する。この際、剥離用イオン注入層 4 も、パターン層 20 のパターンに応じて、第一主表面 J からの形成深さ位置がそれぞれ異なるものとなるが、その形成深さ位置の差、つまりは、SOI 層に必要とされる所望の形成膜厚の差（図 13 における t_b ）が、50 nm 以下（例えば、20 ~ 50 nm）と十分に小さい場合であれば、
15 問題なくボンドウエーハ（第二基板）1 を剥離用イオン注入層 4 において剥離することができる。このよう形成形態を採用した場合、剥離用イオン注入層およびエッチストップ用イオン注入層を連続的に形成できるので、作業効率を高めることが可能となる。なお、ここでの説明では、エッチストップ用イオン注入層 6 を形成した後、剥離用イオン注入層 4 を形成する工程を取ったが、勿論、それらの形成順を逆
20 にしてもよい。
- 25

このように工程①で、エッチストップ用イオン注入層 6 および剥離用イオン注入層 4 を形成した後の、工程②以降は、図 13 の工程③以降と同様の工程となる。

図13や図18などを用いて説明した上記実施形態は、剥離用イオン注入層を形成し、該剥離用イオン注入層を用いて剥離工程を行なうものであったが、次のような剥離工程を有さない場合の別の実施形態を以下に説明する。

図 1 6 は、第三発明に係わる製造方法において、剥離工程を有さないものの一実施形態を説明するものである。まず、工程①において、エッチストップ用イオン注入層 6 を形成する。但し、ここでは、パターン層 20 を次のような形態で形成することとする。まず、シリコン酸化膜または公知のレジスト膜をパターン層形成用層として、ボンドウエーハ 1 の第一主表面 J に形成する。そして、このシリコン酸化膜またはレジスト膜に対して、フォトリソグラフィを用いて、所定のパターンとなるようパターンニング処理を行なうことで、パターン層 20 とする。このように、パターン層 20 を、特にシリコン酸化膜またはレジスト膜を用いてシリコン表面(ボンドウエーハ 1 表面)に直接形成することで、作業効率の向上を可能とする。次に、工程②にて、パターン層 20 をエッチング等にて除去後、エッチストップ用イオン注入層 6 に向けて酸素を拡散させる酸素拡散工程を行うことにより、該エッチストップ用イオン注入層 6 に基づいてエッチストップ層 6' を形成する(エッチストップ層形成工程)。また、この工程②にて、エッチストップ層 6' とともに、層領域 5 a が形成されることになる。ここで、層領域 5 a は、シリコン酸化膜とされるものである。そして、エッチストップ層 6' を形成したボンドウエーハ 1 とベースウエーハ 7 とは、洗浄液にて洗浄される。次に、工程③に示すように、両ウエーハ 1、7 をシリコン酸化膜の代替層とされる層領域 5 a の形成側(すなわち第一主表面 J、K 側)にて貼り合わせ、さらに 800℃～1250℃にて結合熱処理を行なう。次に、工程④に示すように、エッチストップ層 6' と接する領域を含む、第二のシリコン層 61 の一部分を残して、ボンドウエーハ(第二基板)1を減厚する(予備減厚工程)。

具体的には、エッチストップ層 6' の上にエッチング用のシリコン層 6 1' を 0. 1
〜10 μm 程度残して、ボンドウエーハ 1 を例えば、平面研削盤等により機械研削
し、必要に応じてさらに研磨する。このようにして、図 13 の結合シリコン単結晶
薄膜 5 と同様の膜厚とされるシリコン単結晶薄膜 5 となる。その後、工程⑤に示す
5 ように、シリコン層 6 1' を選択エッチングによりエッチングストップ層 6' の位置
までエッチバックする（エッチング減厚工程）。このエッチング減厚工程は、図 13
の工程⑥と同様であり、それ以降の工程も同様のものである。

図 16 を用い説明した実施態様では、工程②の酸素拡散熱処理の後で、工程③の
貼り合わせおよび結合熱処理を行なったが、工程①にてエッチストップ用イオン注
10 入層 6' を形成後、酸素拡散熱処理を行なわずに工程③の貼り合わせおよび結合熱処
理を実施し、さらに工程④の研削等による予備減厚工程を行なった後、工程②と同
様の酸素拡散熱処理を行なうようにしてもよい。この場合、酸素拡散熱処理の熱処
理を、結合熱処理と兼ねることもできる。また、この結合熱処理を、工程⑥の後に
行なう平坦化熱処理の熱処理と兼ねて行なうこととしてもよい。

15 また、エッチストップ用イオン注入層 6 を酸素イオンを用いて形成し、十分な酸
素濃度を有する層とできる場合は、工程②の酸素拡散熱処理を省略することも可能
である。勿論、さらに酸素濃度を高めるために酸素拡散熱処理を行なってもよく、
この場合、アルゴンなどの不活性ガス雰囲気中で熱処理を行なうこともできる。この
ような熱処理を行なう場合は、工程③の結合熱処理が、該熱処理も兼用することに
20 なる。

次に、ボンドウエーハ（第二基板）1 の減厚工程を、例えば特許第 2 6 0 8 3 5
1 号に開示された周知の ELTRAN（商標名）法にて行なうこともできる。図 1
7 に、その例を示す。まず工程①に示すように、ボンドウエーハ 1 の第一主表面側
に周知の陽極化成処理により多孔質シリコン層 3 1 を形成後、該多孔質シリコン層
25 3 1 上に SOI 層となるべきシリコンエピタキシャル層 3 7 を気相成長する。さら

- に、このエピタキシャル層 37 の貼り合わせ面側の第一主表面上にシリコン酸化膜などを用いてパターン層を形成し、その第一主表面側からイオン注入することにより、エッチストップ用イオン注入層を形成する。そして、パターン層を除去後、酸素拡散熱処理により、エッチストップ層 6' とす。そして、該シリコンエピタキシャル層 37 の第一主表面において、ベースウエーハ 7 に対する結合熱処理を行なう。
- 次に、工程②に示すように、ボンドウエーハ 1 の多孔質シリコン層 31 よりも上に位置する部分を研削等により除去または、多孔質層に流体を噴射して剥離する。そして、工程③に示すように残存する多孔質シリコン層 31 と、シリコンエピタキシャル層 37 のエッチストップ層 6' よりも上の部分を選択エッチングする。以降の工程④及び⑤は、図 13 の工程⑥および⑦と同様である。なお、ELTRAN法を用いる場合においても、エッチストップ層 6' を形成する酸素拡散熱処理は、結合熱処理後に、多孔質シリコン層のみを除去し、シリコンエピタキシャル層 37 を露出させた状態で行なうこともできる。

請 求 の 範 囲

1. 第一基板とシリコン単結晶からなる第二基板との少なくともいずれかの第一主表面に絶縁膜を形成する絶縁膜形成工程と、

- 5 前記第二基板の第一主表面からイオンを打ち込むことにより、深さ方向のイオン注入プロファイルにおいて、第一の深さ位置に濃度ピークを有する剥離用イオン注入層を形成する剥離用イオン注入層形成工程と、

- 前記第二基板の第一主表面からイオンを打ち込むことにより、深さ方向のイオン注入プロファイルにおいて、前記第一の深さ位置よりも浅い第二の深さ位置に濃度
10 ピークを有するエッチストップ用イオン注入層を形成するエッチストップ用イオン注入層形成工程と、

前記剥離用イオン注入層と前記エッチストップ用イオン注入層とが形成された前記第二基板と、前記第一基板との前記第一主表面同士を、前記絶縁膜を介して貼り合わせる貼り合わせ工程と、

- 15 該貼り合わせ工程の後、前記エッチストップ用イオン注入層を含んだSOI層となるべき結合シリコン単結晶薄膜を、前記第二基板より前記剥離用イオン注入層において剥離する剥離工程と、

- 前記結合シリコン単結晶薄膜中に、周囲部分よりも酸素濃度が高いエッチストップ層を前記エッチストップ用イオン注入層に基づいて形成するエッチストップ層形成工程と、
20 成工程と、

前記結合シリコン単結晶薄膜の前記エッチストップ層よりも表層側を、酸素濃度差に基づいて選択エッチングすることにより、前記結合シリコン単結晶薄膜を減厚する減厚工程と、

を含むことを特徴とするSOIウェーハの製造方法。

- 25 2. 前記剥離用イオン注入層を形成するためのイオンが水素イオン及び希ガス

イオンよりなるイオン群から選ばれる少なくとも1種類であることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

3. 前記エッチストップ用イオン注入層を形成するためのイオンとして水素イオン、希ガスイオン及びシリコンイオンよりなるイオン群から選ばれる少なくとも1種類を用いることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載のSOIウェーハの製造方法。

4. 前記エッチストップ層形成工程において、前記結合シリコン単結晶薄膜の表面から前記エッチストップ用イオン注入層に向けて酸素を拡散させる酸素拡散工程を行なうことにより、該エッチストップ用イオン注入層の酸素濃度を高めて前記エッチストップ層となすことを特徴とする請求の範囲第1項ないし第3項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

5. 前記エッチストップ層形成工程において、前記酸素拡散工程を、酸素含有雰囲気中での熱処理にて行なうことを特徴とする請求の範囲第4項記載のSOIウェーハの製造方法。

6. 前記剥離工程後、前記第一基板と前記結合シリコン単結晶薄膜とを強固に結合する結合熱処理を行ない、該結合熱処理または、該結合熱処理に先立ち、該結合熱処理よりも低温で実施される前記結合シリコン単結晶薄膜の表面保護酸化熱処理に、前記酸素含有雰囲気中での熱処理が兼用されていることを特徴とする請求の範囲第5項に記載のSOIウェーハの製造方法。

7. 前記酸素拡散工程に先立って、前記結合シリコン単結晶薄膜の最表層部をエッチング除去することを特徴とする請求の範囲第5項又は第6項に記載のSOIウェーハの製造方法。

8. 前記エッチストップ用イオン注入層を形成するためのイオンとして酸素イオンを用いることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載のSOIウェーハの製造方法。

9. 水素イオン、希ガスイオン、またはシリコンイオンよりなるイオン群から選ばれる少なくとも一種類を用いて予備イオン注入層を形成し、さらにその予備イオン注入層に前記酸素イオンを打ち込むことにより前記エッチストップ用イオン注入層とすることを特徴とする請求の範囲第8項記載のSOIウェーハの製造方法。

5 10. 前記エッチストップ層形成工程において、酸素イオンを用いて前記結合シリコン単結晶薄膜中に前記エッチストップ用イオン注入層を形成後、該結合シリコン単結晶薄膜を熱処理することを特徴とする請求の範囲第8項又は第9項に記載のSOIウェーハの製造方法。

10 11. 前記剥離工程が終了後、前記第一基板と前記結合シリコン単結晶薄膜とを強固に結合する結合熱処理を行い、該結合熱処理又は該結合熱処理に先立ちそれよりも低温で実施される前記結合シリコン単結晶薄膜の表面保護酸化熱処理に、前記熱処理が兼用されていることを特徴とする請求の範囲第10項に記載のSOIウェーハの製造方法。

15 12. 前記エッチストップ用イオン注入層を形成する際のイオン注入量を、前記剥離用イオン注入層を形成する際のイオン注入量よりも小さくすることを特徴とする請求の範囲第1項ないし第11項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

13. 前記絶縁膜をシリコン酸化膜とすることを特徴とする請求の範囲第1項ないし第12項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

20 14. 前記第一基板をシリコン単結晶基板とすることを特徴とする請求の範囲第1項ないし第13項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

15. 前記剥離用イオン注入層は、前記第一の深さ位置が、前記第二基板の第一主表面側のシリコン単結晶表面から100nm以上2000nm以下の範囲に位置し、

25 前記エッチストップ用イオン注入層は、前記第二の深さ位置が、前記第一の深さ

位置より少なくとも50nm浅い範囲に位置することを特徴とする請求の範囲第1項ないし第14項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

16. 前記減厚工程の後、前記SOI層上に残留しているエッチストップ層をエッチング除去することを特徴とする請求の範囲第1項ないし第15項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

17. 前記エッチストップ層の除去後、前記SOI層の表面をさらに平坦化する平坦化熱処理を行なうことを特徴とする請求の範囲第16項に記載のSOIウェーハの製造方法。

18. 前記減厚工程の後、前記SOI層の最表層部を熱酸化し、形成された熱酸化膜をエッチング除去する犠牲酸化処理を行なうことを特徴とする請求の範囲第1項ないし第17項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

19. 前記エッチストップ用イオン注入層形成工程において、前記第二シリコン単結晶基板の第一主表面へのイオンの打ち込みと、該第一主表面の洗浄とを交互に繰り返すことを特徴とする請求の範囲第1項ないし第18項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

20. 前記エッチストップ用イオン注入層形成工程において、前記第二シリコン単結晶基板の第一主表面へのイオンの打ち込みを、該第一主表面へのイオンの打ち込み角度及び／又は方向を変えながら繰り返すことを特徴とする請求の範囲第1項ないし第19項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

21. 前記SOI層の膜厚均一性が、同一ウェーハ内の膜厚の標準偏差値にて0.4nm以下とされ、同一仕様のウェーハ間の標準偏差値にて2nm以下とされることを特徴とする請求の範囲第1項ないし第20項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

22. 前記犠牲酸化処理工程において、前記SOI層を50nm以下とすることを特徴とする請求の範囲第18項に記載のSOIウェーハの製造方法。

23. 前記第二シリコン単結晶基板として、前記第一主表面が鏡面研磨面とされた鏡面研磨ウェーハが使用されることを特徴とする請求の範囲第1項ないし第22項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

24. 第一基板とシリコン単結晶よりなる第二基板との少なくともいずれかの第一主表面に絶縁膜を形成し、該絶縁膜を介して前記第一及び第二基板の前記第一主表面同士を貼り合わせる貼り合わせ工程と、

前記第二基板の第一主表面からみてSOI層となるべき第一のシリコン層部分を隔てた第一の深さ位置に、イオン注入法によりエッチストップ用イオン注入層を形成するエッチストップ用イオン注入層形成工程と、

10 前記エッチストップ用イオン注入層に向けて酸素を拡散させる酸素拡散工程を行ない、該エッチストップ用イオン注入層の酸素濃度を高めることにより、周囲部分よりも酸素濃度が高いエッチストップ層を形成するエッチストップ層形成工程と、

前記第二基板の厚さ方向において前記第一のシリコン層部分と反対側に位置する部分を第二のシリコン層部分として、前記貼り合わせ工程後において、前記第二のシリコン層部分の少なくとも前記エッチストップ層と接する領域を酸素濃度差に基づいて選択エッチングすることにより、厚みを減ずる減厚工程と、

を含むことを特徴とするSOIウェーハの製造方法。

25. 前記エッチストップ用イオン注入層形成工程を、前記貼り合わせ工程に先立って、前記第二基板の第一主表面からイオンを打ち込むことにより行い、

20 前記貼り合わせ工程の後、前記エッチストップ用イオン注入層又は該エッチストップ用イオン注入層に基づいて形成されたエッチストップ層と接する領域を含む、前記第二のシリコン層の一部を残して、前記第二基板を減厚する予備減厚工程を実施することを特徴とする請求の範囲第24項に記載のSOIウェーハの製造方法。

26. 前記エッチストップ層形成工程において、前記酸素拡散工程を、酸素含有雰囲気中での熱処理にて行なうことを特徴とする請求の範囲第24項又は第25

項に記載のSOIウェーハの製造方法。

27. 前記エッチストップ用イオン注入層を形成するためのイオンとして、水素イオン、希ガスイオン、シリコンイオン及び酸素イオンよりなる群から選ばれる少なくとも1種類を用いることを特徴とする請求の範囲第24項ないし第26項の
5 いずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

28. 前記減厚工程の後、前記SOI層上に残留しているエッチストップ層をエッチング除去することを特徴とする請求の範囲第24項ないし第27項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

29. 前記エッチストップ層の除去後、前記SOI層の表面をさらに平坦化する平坦化熱処理を行なうことを特徴とする請求の範囲第28項に記載のSOIウェーハの製造方法。
10

30. 前記減厚工程の後、前記SOI層の最表層部を熱酸化し、形成された熱酸化膜をエッチング除去する犠牲酸化処理を行なうことを特徴とする請求の範囲第24項ないし第29項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

31. 前記犠牲酸化処理後の前記SOI層の膜厚を50nm以下とすることを特徴とする請求の範囲第30項に記載のSOIウェーハの製造方法。
15

32. 前記第一基板をシリコン単結晶基板とすることを特徴とする請求の範囲第24項ないし第31項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

33. 前記絶縁膜をシリコン酸化膜とすることを特徴とする請求の範囲第24項ないし第32項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。
20

34. 前記エッチストップ用イオン注入層形成工程において、前記第二シリコン単結晶基板の第一主表面へのイオンの打ち込みと、該第一主表面の洗浄とを交互に繰り返すことを特徴とする請求の範囲第24項ないし第33項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

35. 前記エッチストップ用イオン注入層形成工程において、前記第二シリコ
25

ン単結晶基板の第一主表面へのイオンの打ち込みを、該第一主表面へのイオンの打ち込み角度及び／又は方向を変えながら繰り返すことを特徴とする請求の範囲第24項ないし第34項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

36. 前記SOI層の膜厚均一性が、同一ウェーハ内の膜厚の標準偏差値にて0.4nm以下とされ、同一仕様のウェーハ間の標準偏差値にて2nm以下とされることを特徴とする請求の範囲第24項ないし第35項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

37. 絶縁膜の表面に形成厚さが異なるようにSOI層が形成されてなるSOIウェーハの製造方法であって、

10 第一基板とシリコン単結晶よりなる第二基板との少なくともいずれかの第一主表面に絶縁膜を形成する絶縁膜形成工程と、

前記第二基板の第一主表面側の最表層を選択的に被覆するパターン層を形成するパターン層形成工程と、

15 該パターン層が形成された前記第二基板に対して、前記第二基板の第一主表面側からイオン注入法によりイオンを打ち込むことにより、該第一主表面からみてSOI層となるべき第一のシリコン層部分を隔てた第一の深さ位置に、前記パターン層のパターンに応じて前記第一主表面からの形成深さ位置がそれぞれ異なるエッチストップ用イオン注入層を形成するエッチストップ用イオン注入層形成工程と、

20 前記第二基板より前記パターン層を除去した後、該第二基板と、前記第一基板とを、前記絶縁膜を介して、それぞれの前記第一主表面同士を貼り合わせる貼り合わせ工程と、

前記エッチストップ用イオン注入層を、自身の周囲部よりも酸素濃度が高いエッチストップ層とするエッチストップ層形成工程と、

25 前記第二基板の厚さ方向において、前記第一のシリコン層部分と反対側に位置する部分を第二のシリコン層として、前記貼り合わせ工程後において、前記第二のシ

リコン層の少なくとも前記エッチストップ層と接する領域を、酸素濃度差に基づいて選択エッチングすることにより減厚するエッチング減厚工程と、

を含むことを特徴とするSOIウエーハの製造方法。

38. 前記貼り合わせ工程の後、前記エッチング減厚工程に先立ち、前記エッチストップ用イオン注入層又は該エッチストップ用イオン注入層に基づいて形成される前記エッチストップ層と接する領域を含む、前記第二のシリコン層の一部を残して、前記第二基板を減厚する予備減厚工程を実施することを特徴とする請求の範囲第37項記載のSOIウエーハの製造方法。

39. 前記予備減厚工程として、前記貼り合わせ工程に先立って、前記第二基板の第一主表面側からイオンを打ち込むことにより、深さ方向のイオン注入プロファイルにおいて、前記第一の深さ位置よりも深い第二の深さ位置に濃度ピークを有する剥離用イオン注入層を形成しておき、

前記貼り合わせ工程の後、前記第二基板を前記剥離用イオン注入層において剥離する工程を有することを特徴とする請求の範囲第38項記載のSOIウエーハの製造方法。

40. 前記エッチストップ用イオン注入層を形成する際のイオン注入量を、前記剥離用イオン注入層を形成する際のイオン注入量よりも小さくすることを特徴とする請求の範囲第39項記載のSOIウエーハの製造方法。

41. 前記剥離用イオン注入層を形成するためのイオンが水素イオン及び希ガスイオンよりなるイオン群から選ばれる少なくとも1種類であることを特徴とする請求の範囲第39項ないし第40項記載のSOIウエーハの製造方法。

42. 前記エッチストップ用イオン注入層を形成するためのイオンとして水素イオン、希ガスイオン及びシリコンイオンよりなるイオン群から選ばれる少なくとも1種類を用いることを特徴とする請求の範囲第37項ないし第41項のいずれか1項に記載のSOIウエーハの製造方法。

4 3. 前記エッチストップ層形成工程は、前記予備減厚工程の後、前記第二のシリコン層側の表面から前記エッチストップ用イオン注入層に向けて酸素を拡散させる酸素拡散工程を行うことにより、該エッチストップ用イオン注入層の酸素濃度を高めて前記エッチストップ層となすことを特徴とする請求の範囲第38項ないし第42項のいずれか1項に記載のSOIウエーハの製造方法。

4 4. 前記エッチストップ層形成工程において、前記酸素拡散工程を、酸素雰囲気中での熱処理にて行なうことを特徴とする請求の範囲第43項記載のSOIウエーハの製造方法。

4 5. 前記エッチストップ用イオン注入層を形成するためのイオンとして酸素イオンを用いることを特徴とする請求の範囲第37項ないし第41項のいずれか1項に記載のSOIウエーハの製造方法。

4 6. 水素イオン、希ガスイオン、またはシリコンイオンよりなるイオン群から選ばれる少なくとも1種類を用いて予備イオン注入層を形成し、さらにその予備イオン注入層に前記酸素イオンを打ち込むことにより前記エッチストップ用イオン注入層とすることを特徴とする請求の範囲第45項記載のSOIウエーハの製造方法。

4 7. 前記エッチストップ層形成工程において、前記酸素イオンを用いて形成された前記エッチストップ用イオン注入層を含む前記第二基板を熱処理することを特徴とする請求の範囲第45項ないし第46項に記載のSOIウエーハの製造方法。

4 8. 前記エッチング減厚工程の後、前記SOI層上に残留しているエッチストップ層をエッチング除去することを特徴とする請求の範囲第37項ないし第47項のいずれか1項に記載のSOIウエーハの製造方法。

4 9. 前記エッチストップ層の除去後、前記SOI層の表面をさらに平坦化する平坦化熱処理を行なうことを特徴とする請求の範囲第48項記載のSOIウエーハの製造方法。

50. 前記絶縁膜をシリコン酸化膜とすることを特徴とする請求の範囲第37項ないし第49項のいずれか1項に記載のSOIウエーハの製造方法。

51. 前記第一基板をシリコン単結晶基板とすることを特徴とする請求の範囲第37項ないし第50項のいずれか1項に記載のSOIウエーハの製造方法。

5 52. 前記パターン層をシリコン窒化膜とすることを特徴とする請求の範囲第37項ないし第51項のいずれか1項に記載のSOIウエーハの製造方法。

53. 請求の範囲第37項ないし第52項のいずれか1項に記載の製造方法にて形成されるSOIウエーハであって、

10 該SOIウエーハは、面内に形成膜厚の異なるSOI層を有し、該形成膜厚が最大となる層の厚さは、50nm以下とされることを特徴とするSOIウエーハ。

54. 前記SOI層の膜厚均一性が、同一ウエーハ内の標準偏差値にて0.4nm以下とされ、同一仕様のウエーハ間の標準偏差値にて2nm以下とされることを特徴とする請求の範囲第53項記載のSOIウエーハ。

図 1

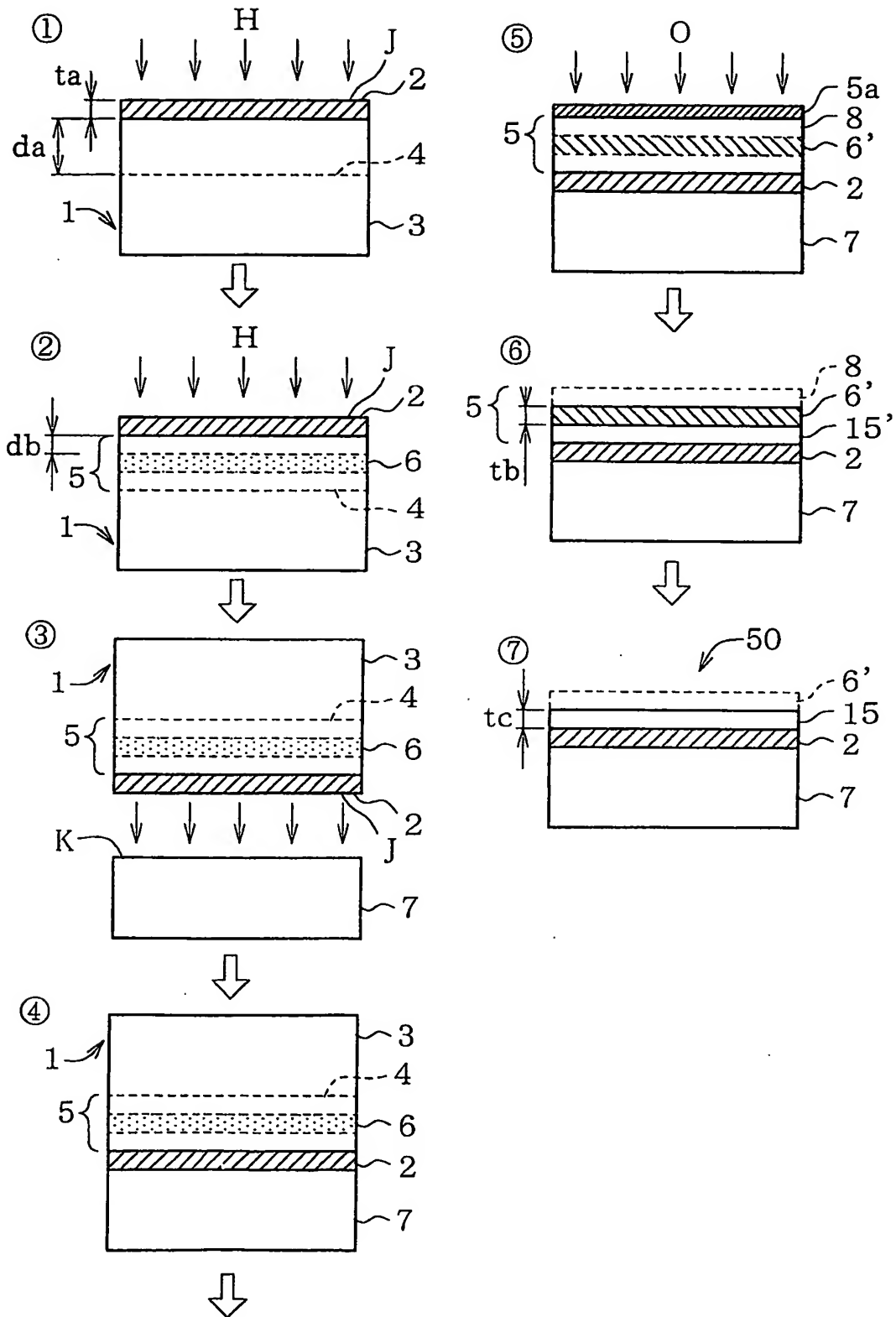


図2

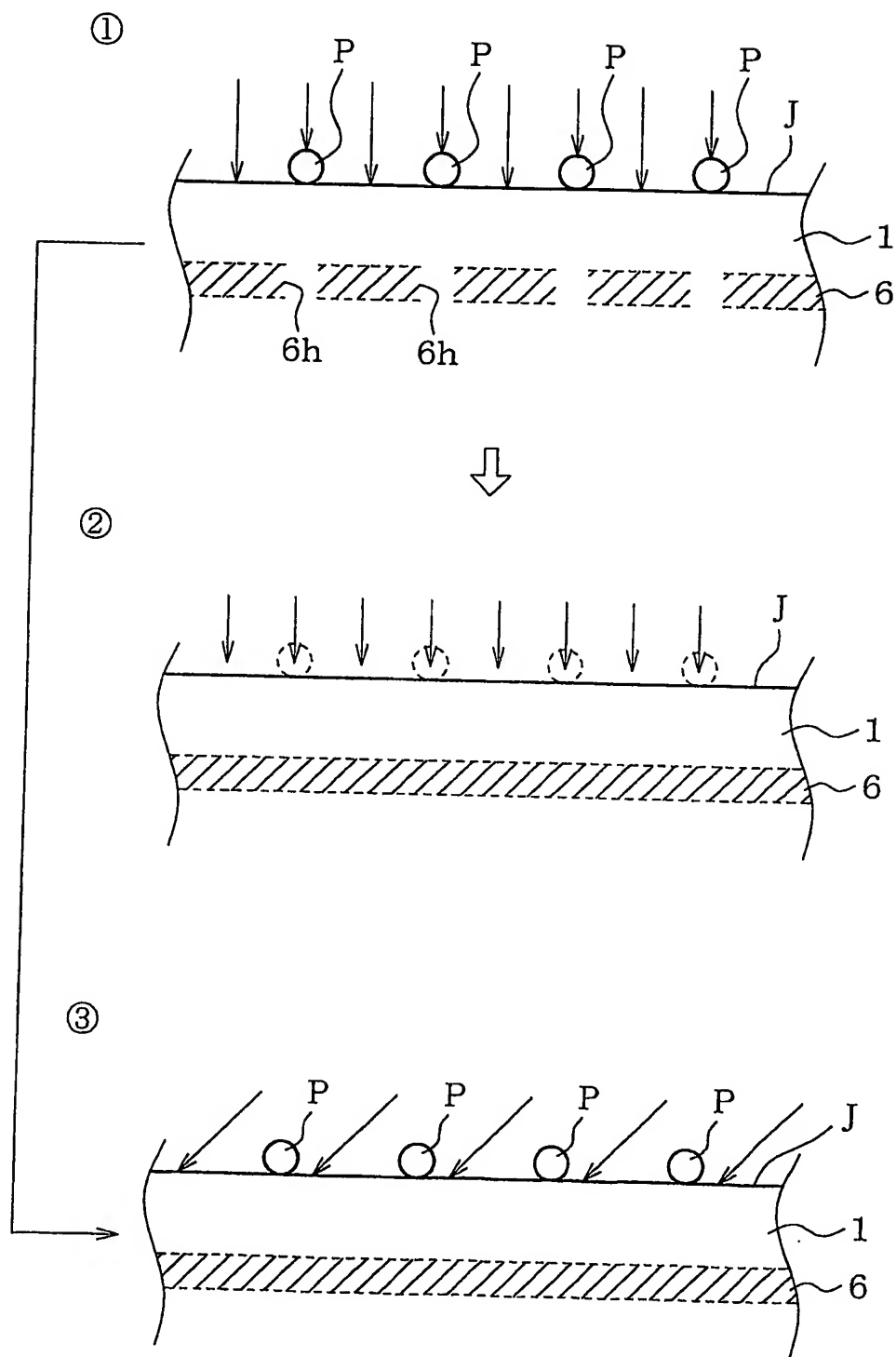


図3

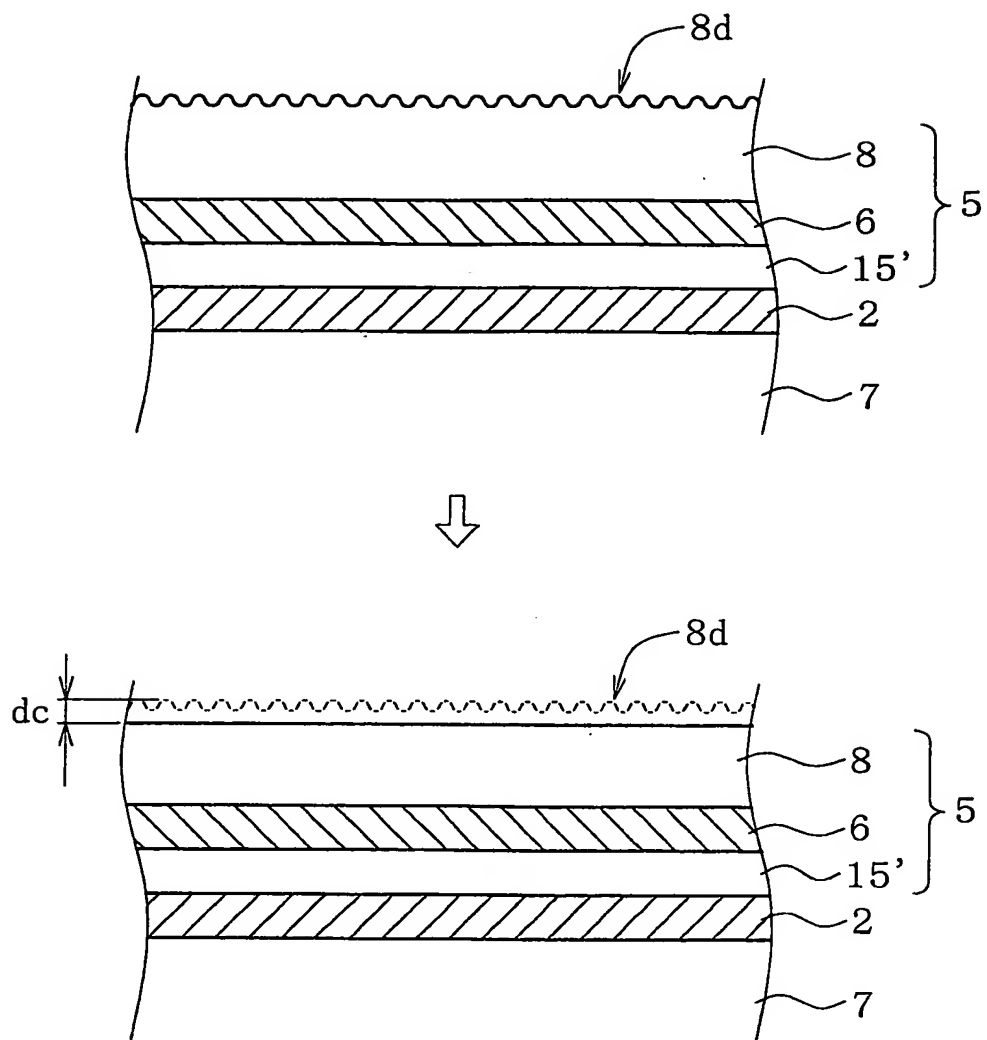
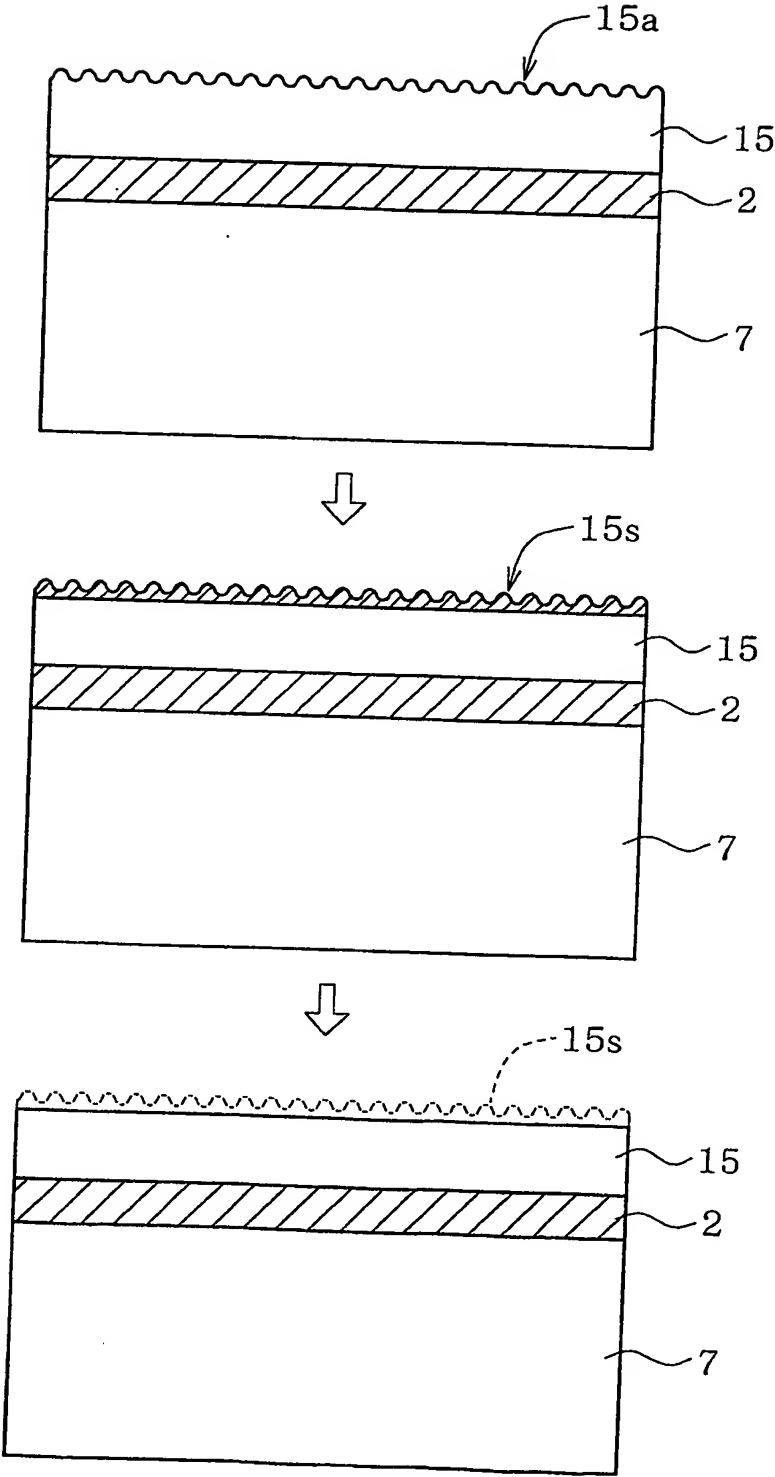
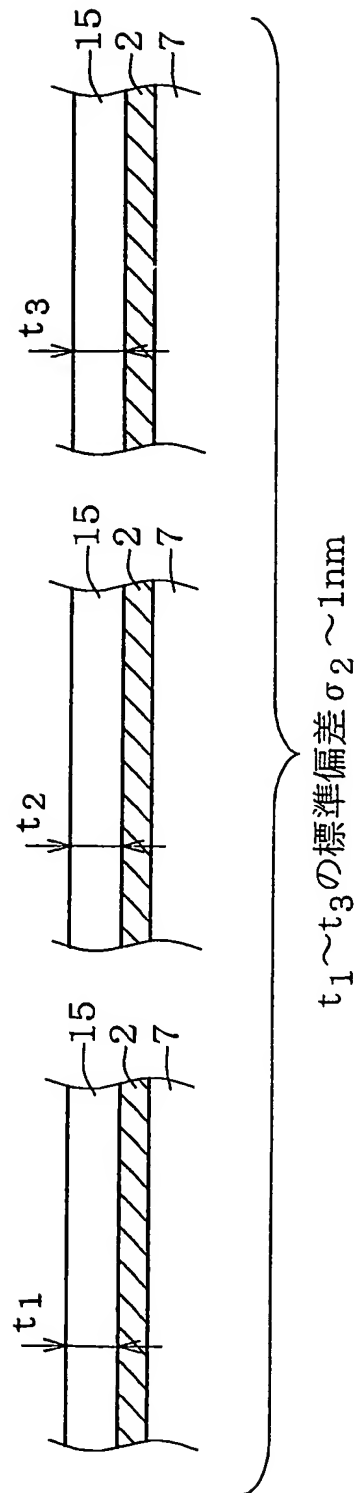


図4



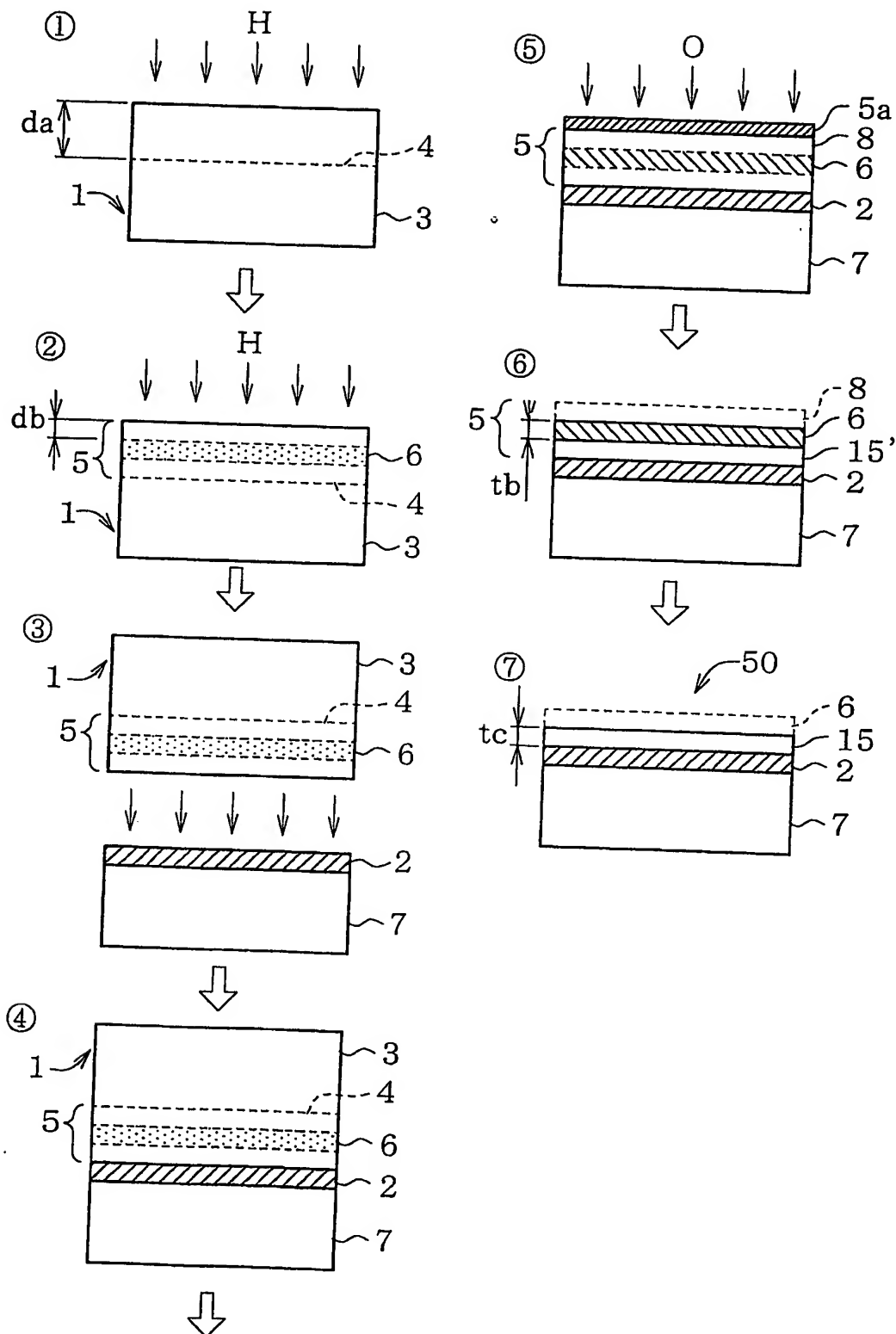
5/24

図5



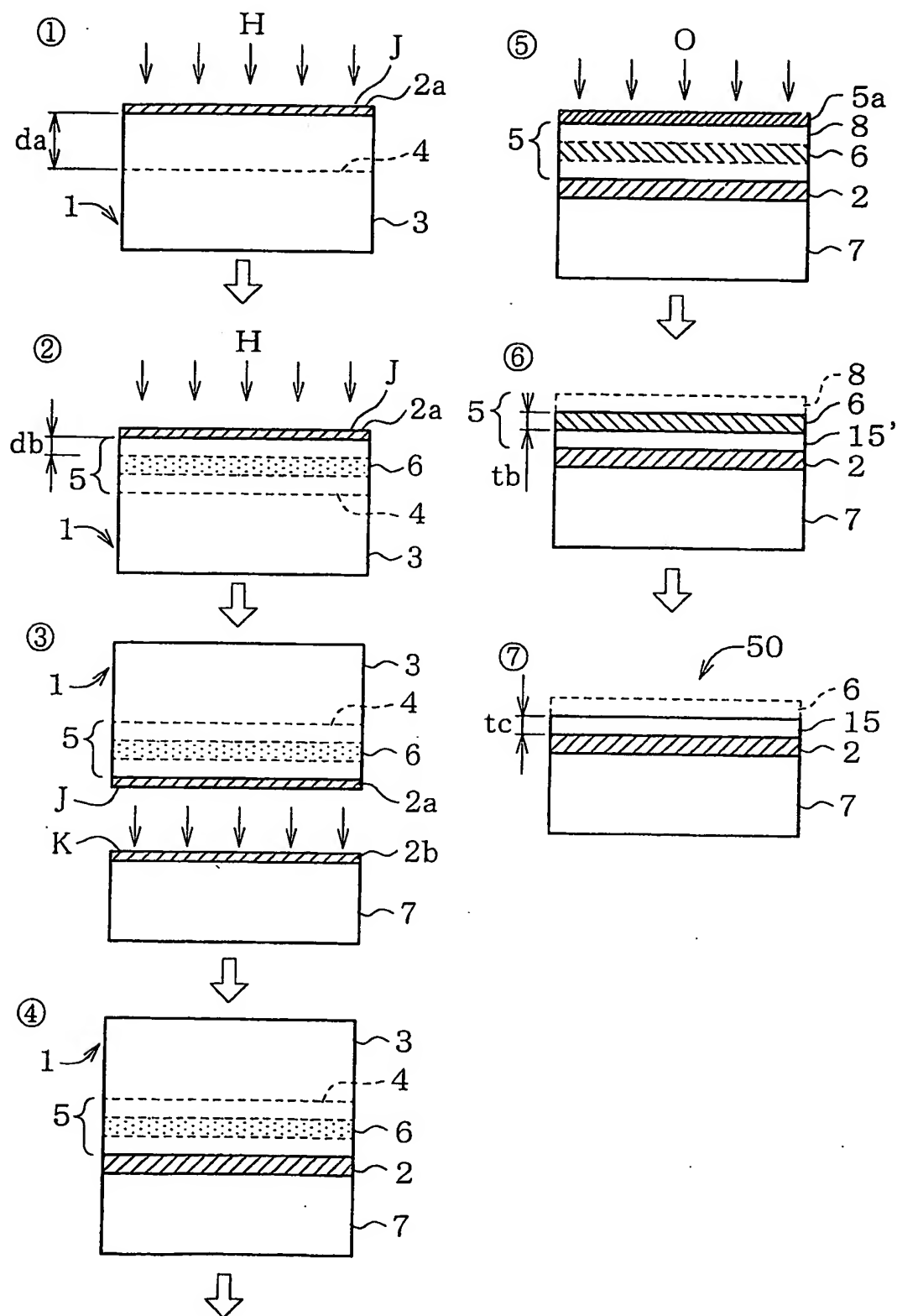
6/24

図6



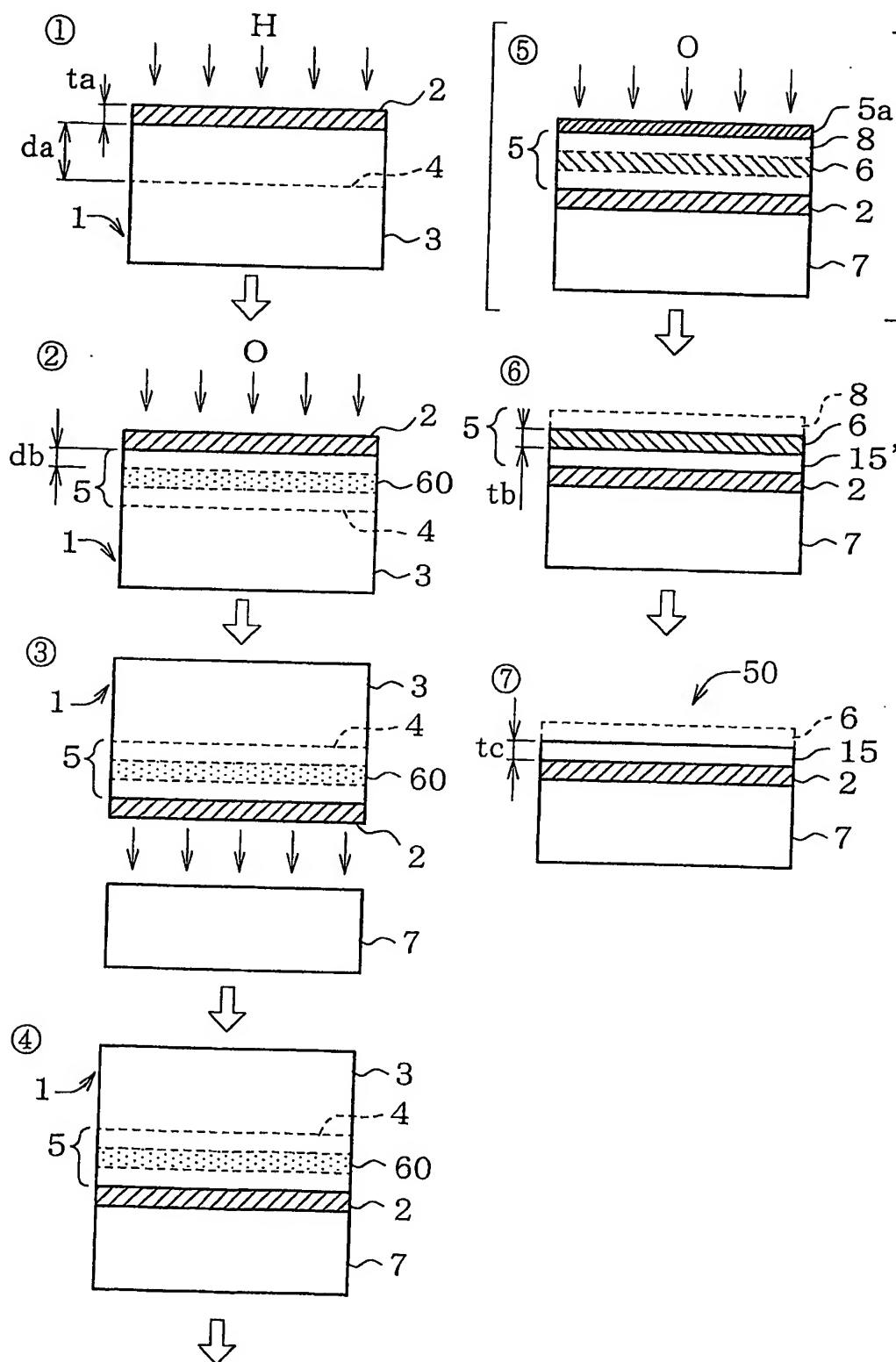
7/24

図7



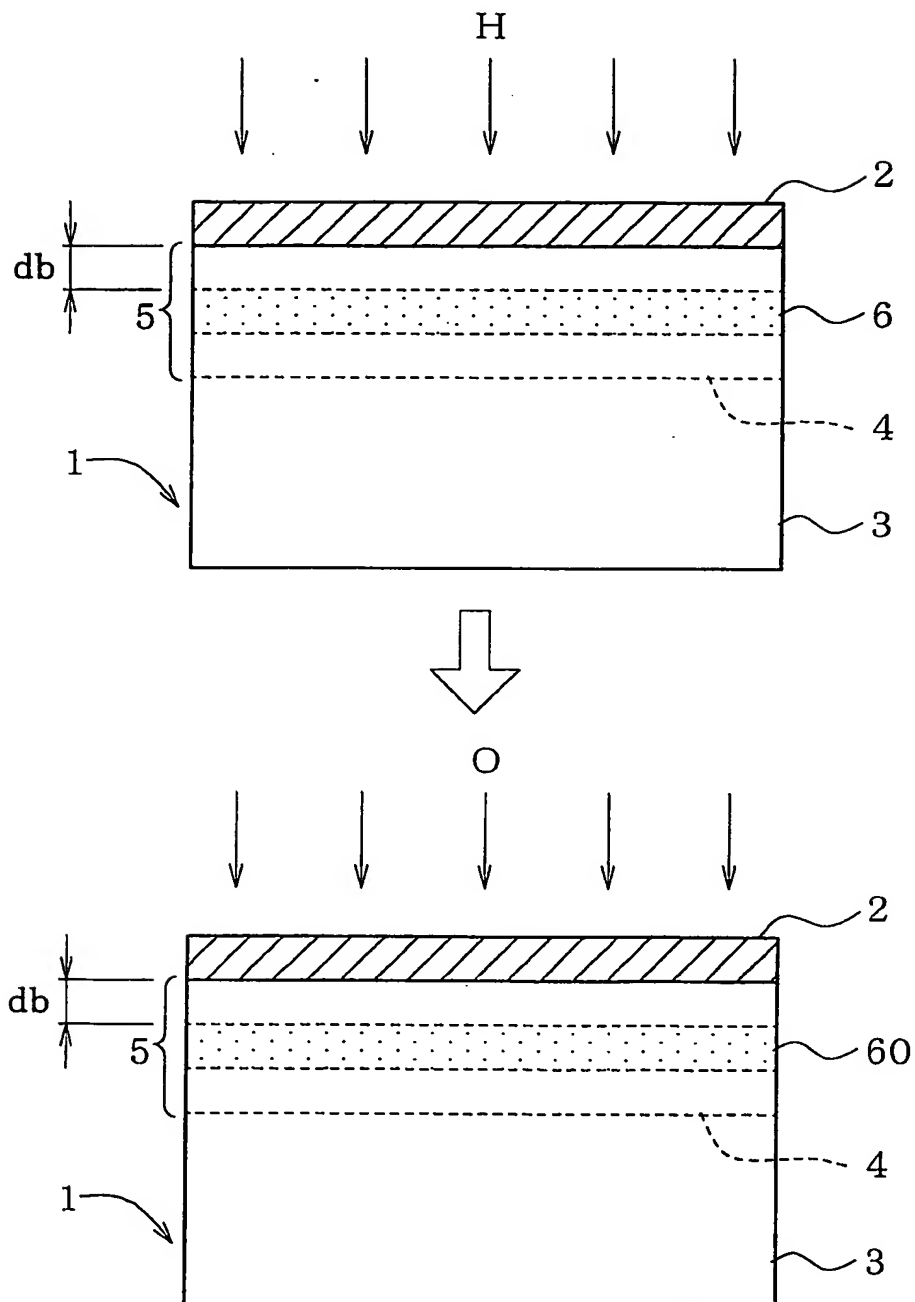
8/24

図8



9/24

図9



10/24

図10A

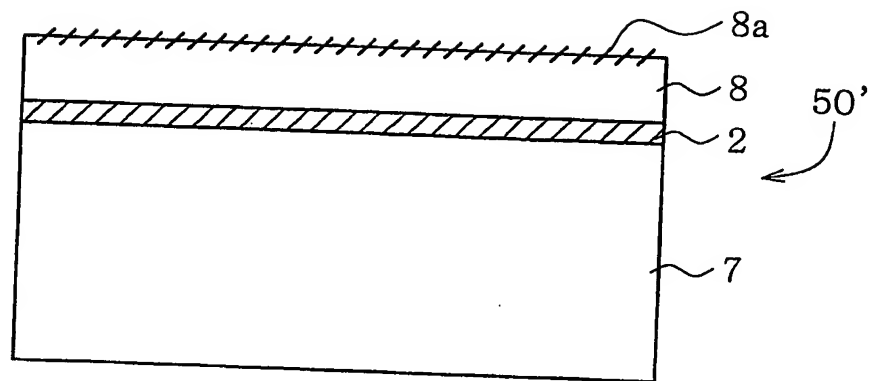


図10B

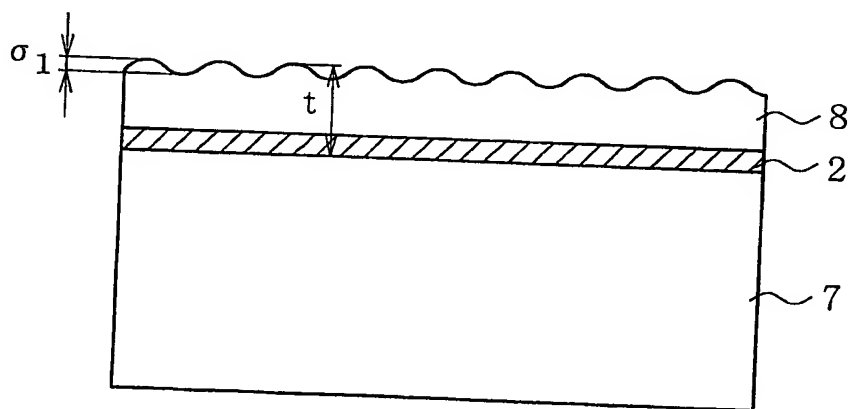
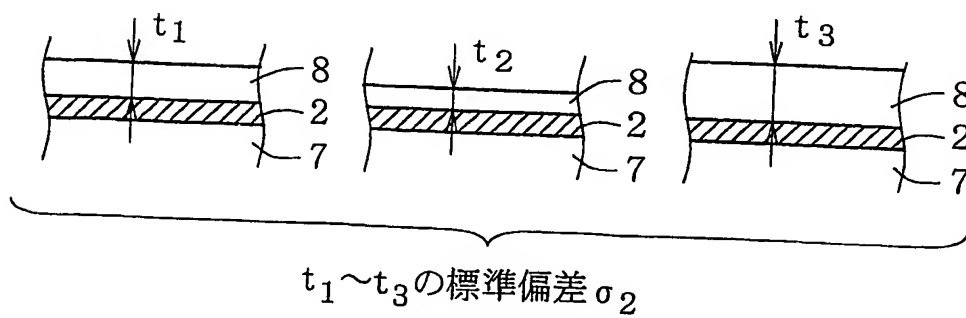
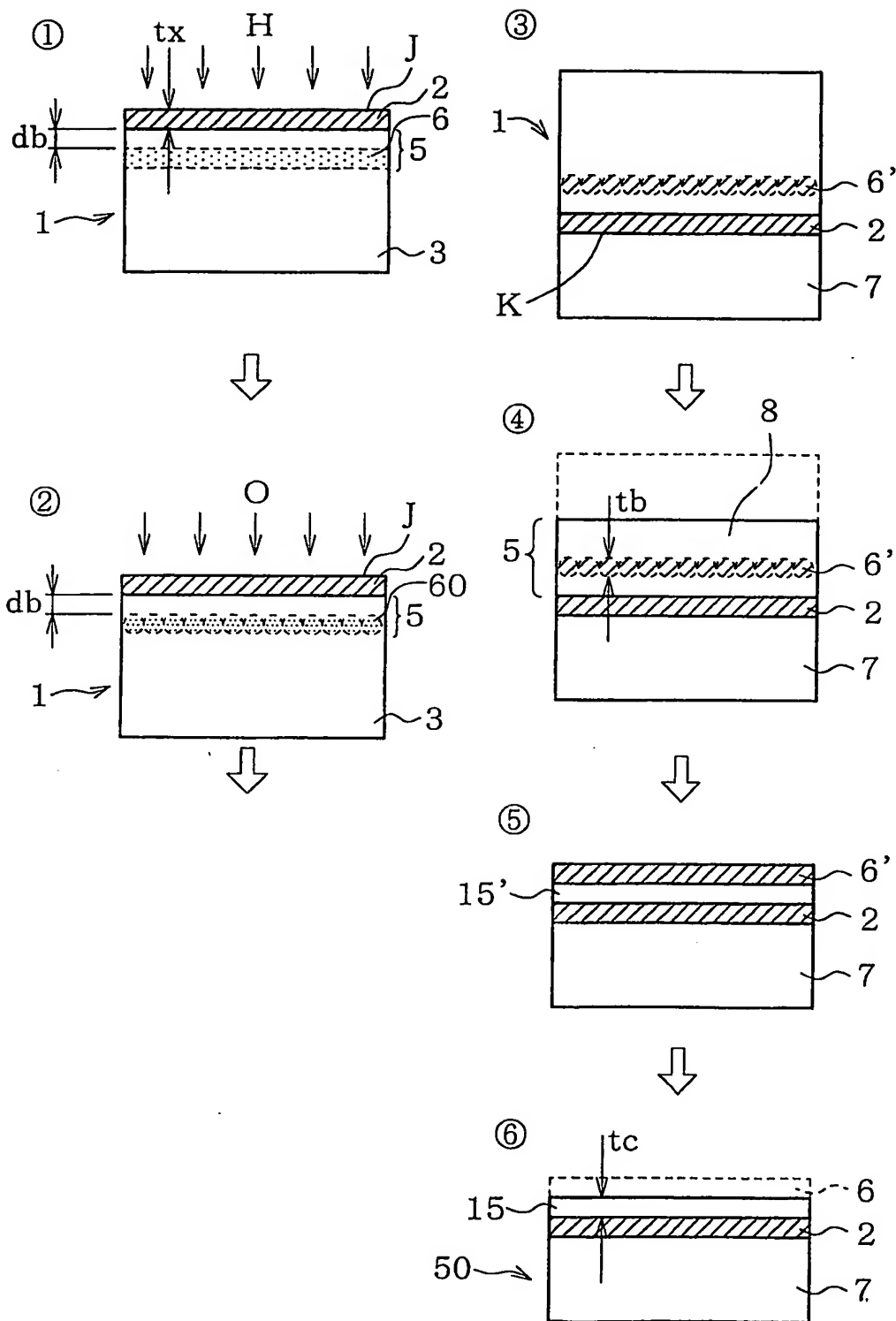


図10C



11/24

図11



12/24

図12

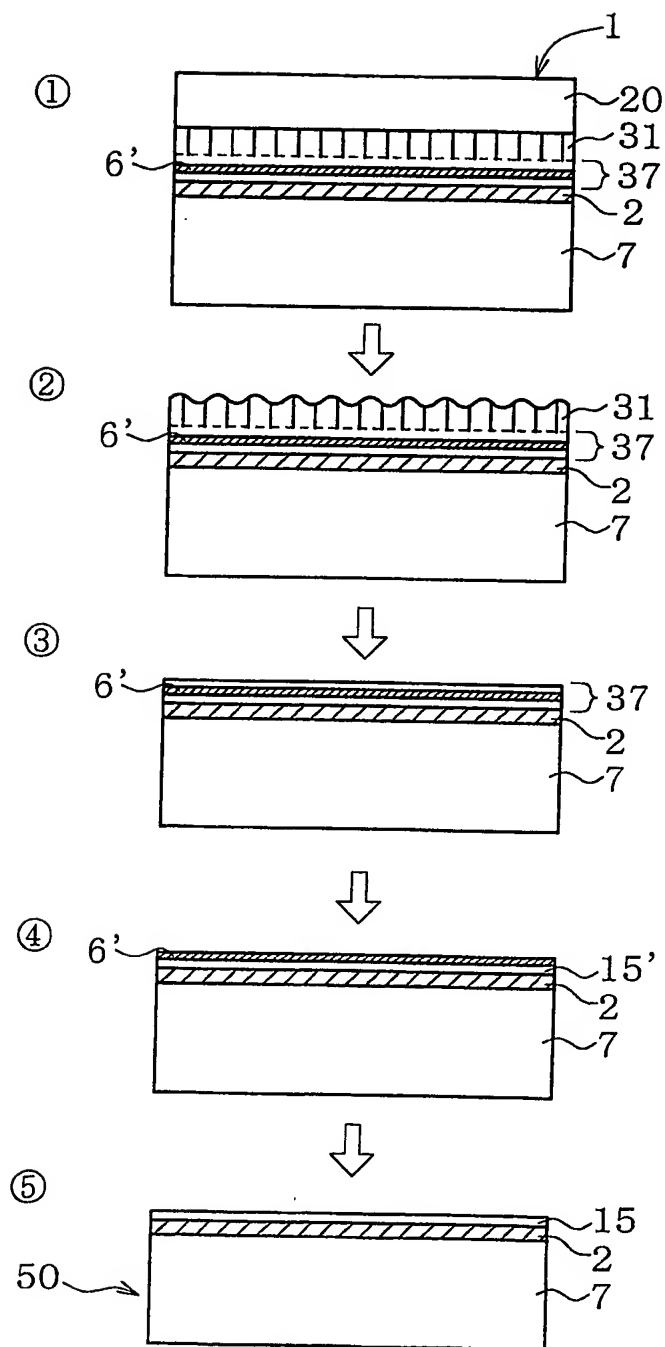


図13

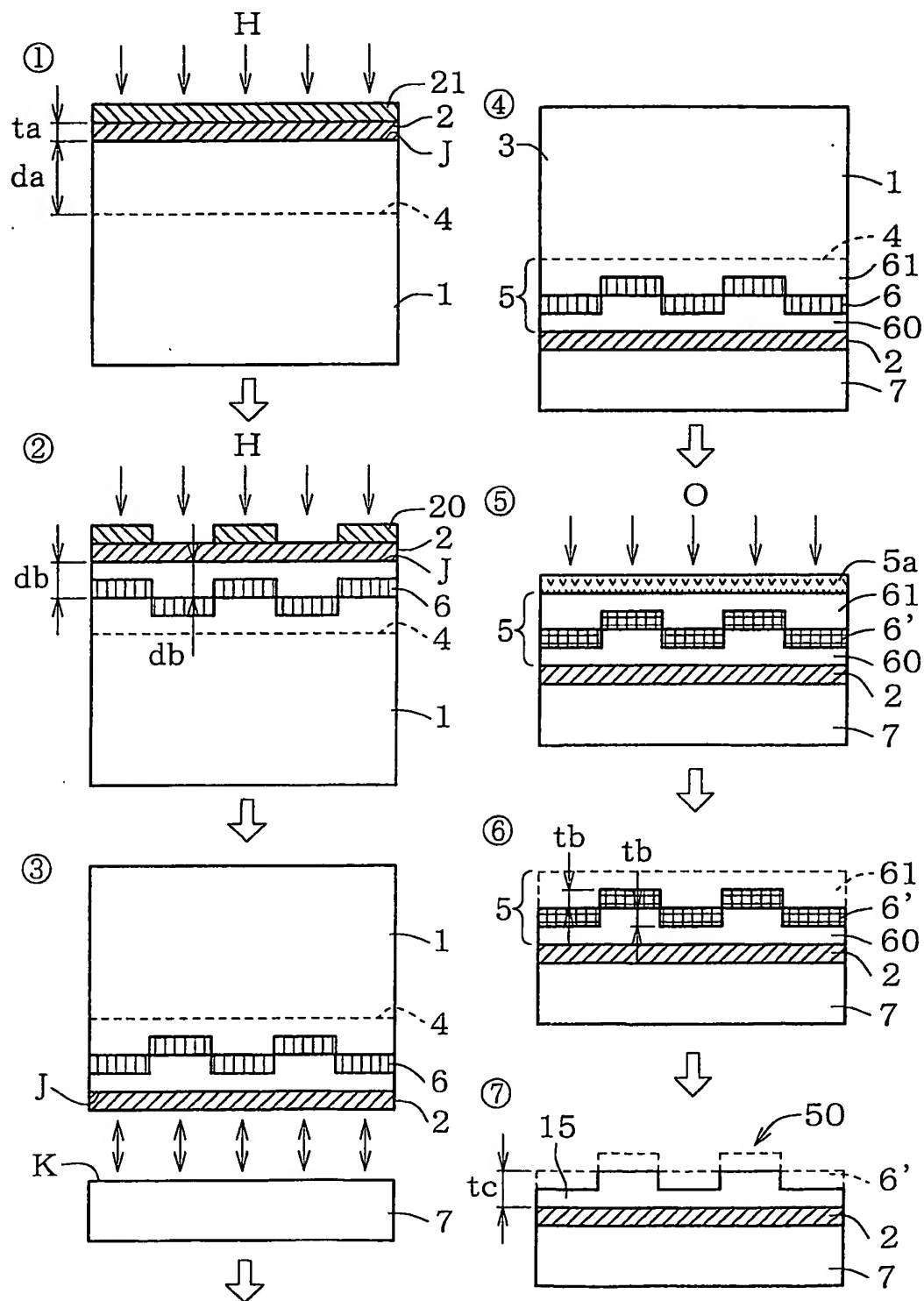


図14

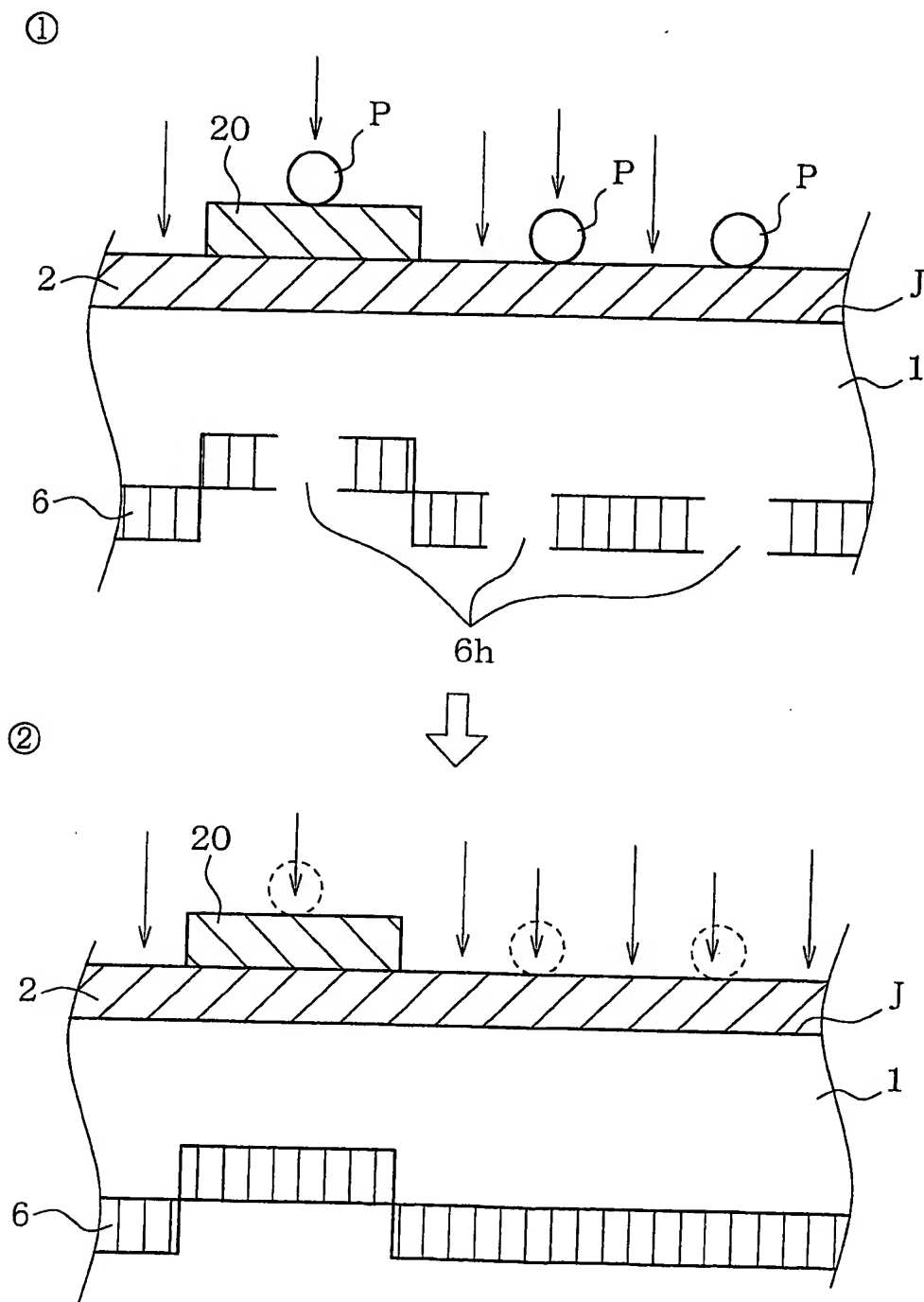


図15

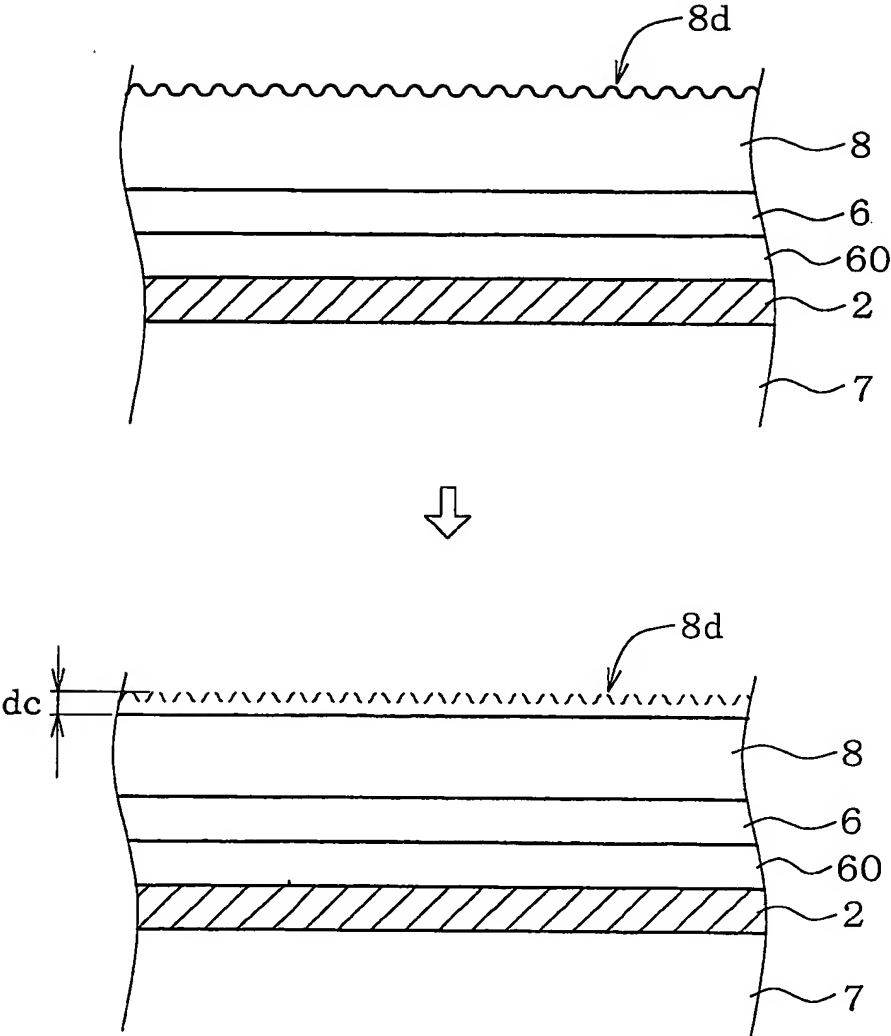
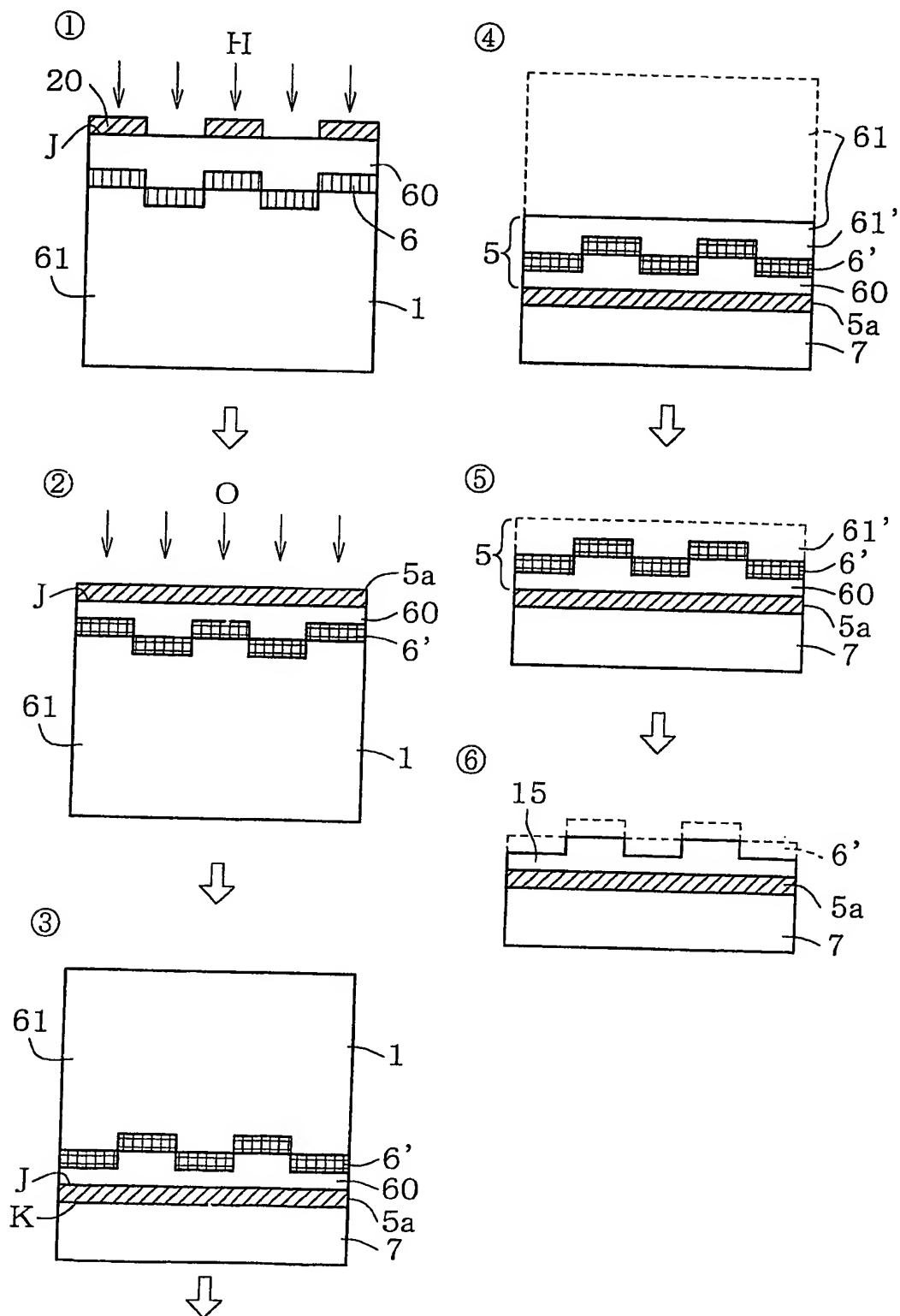


図16



17/24

図17

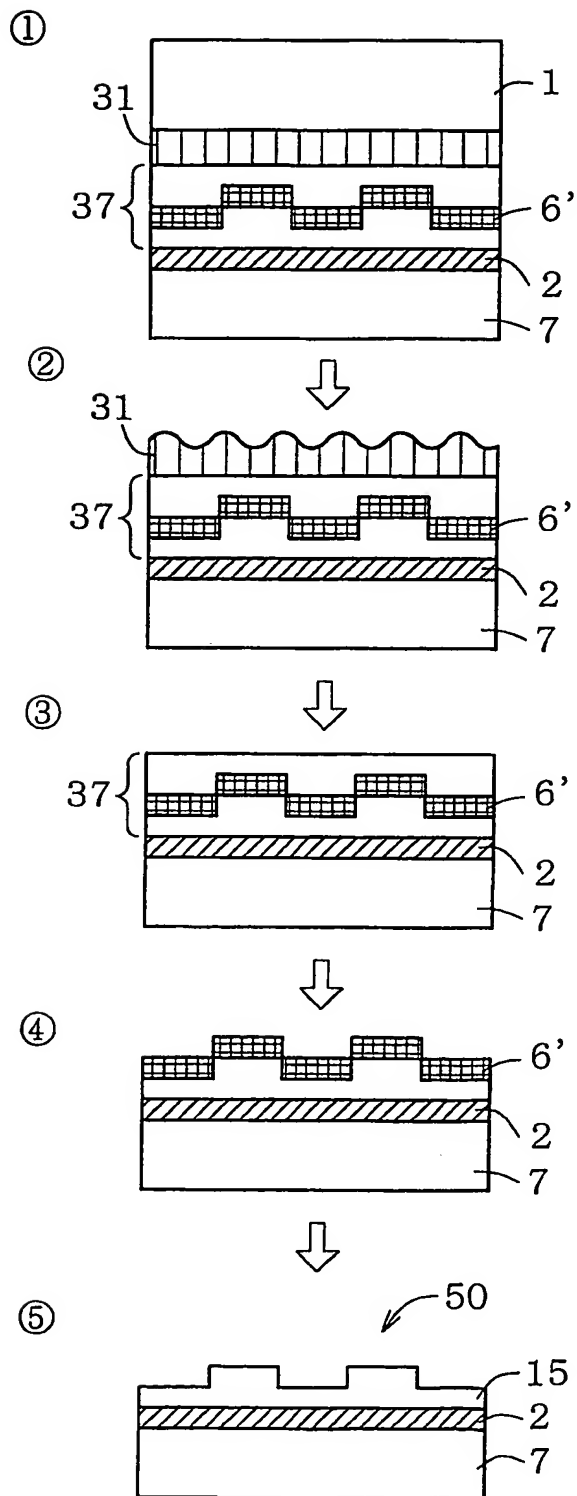


図18

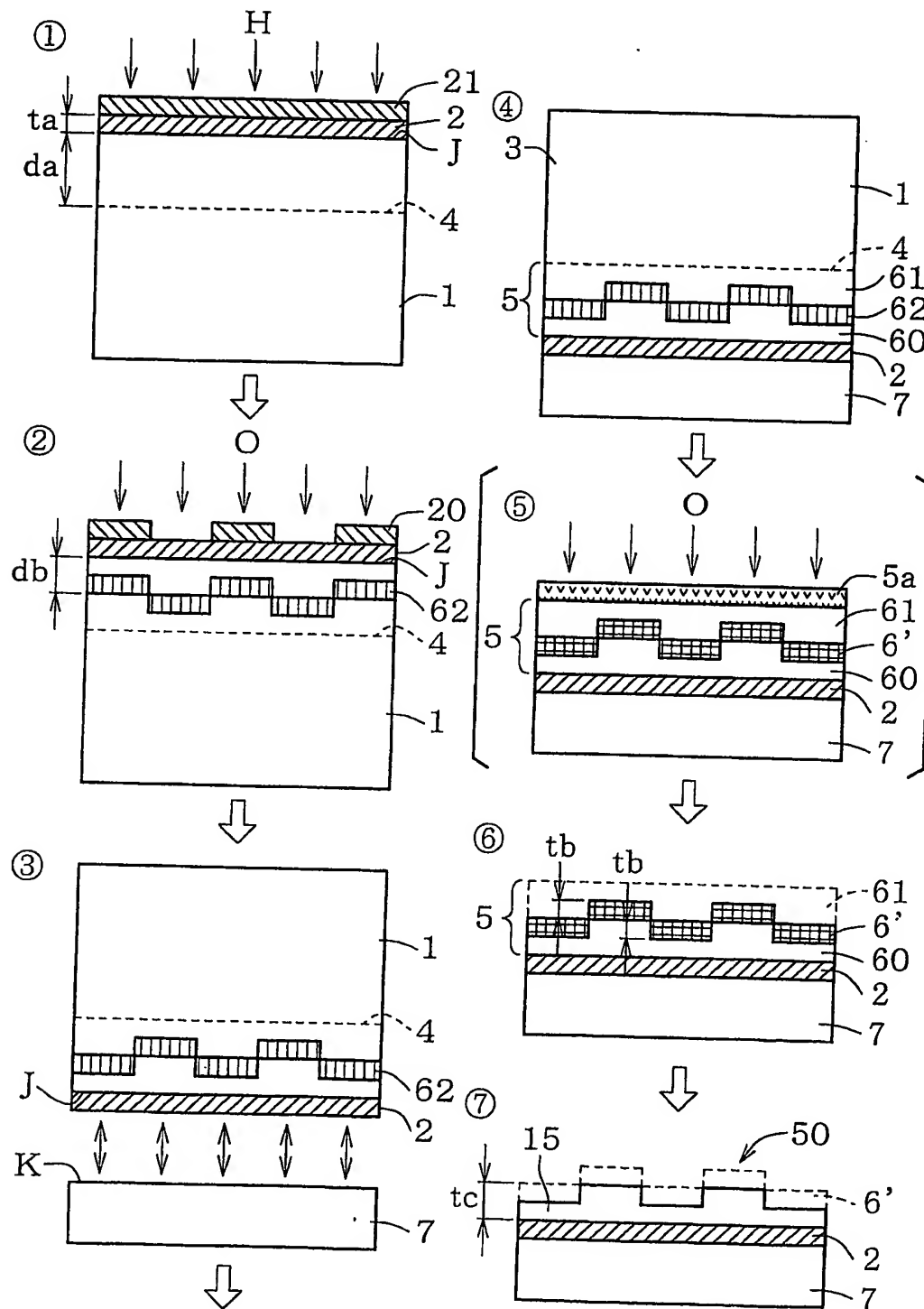


図19A

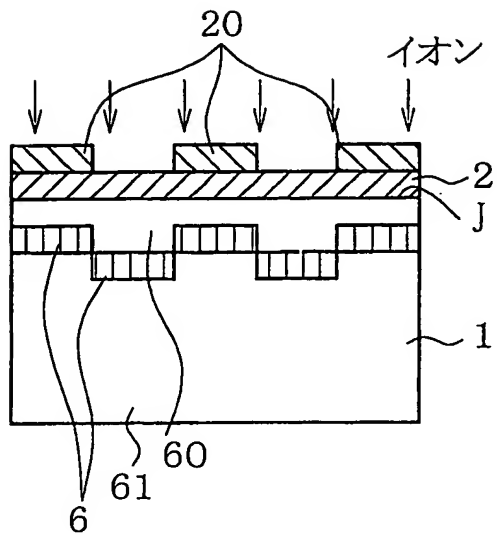


図19B

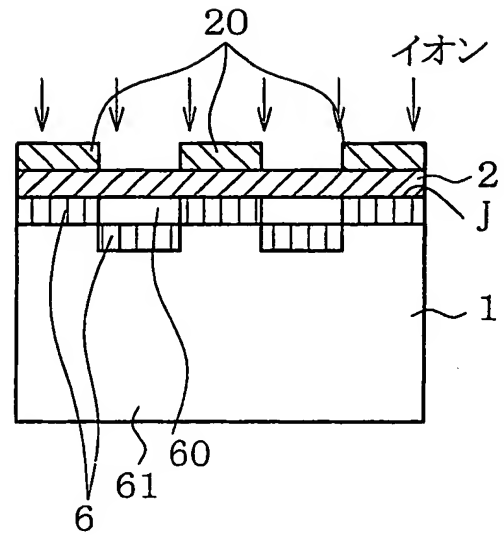


図19C

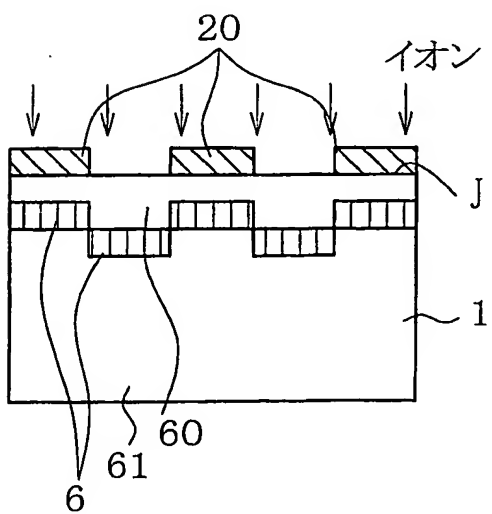


図19D

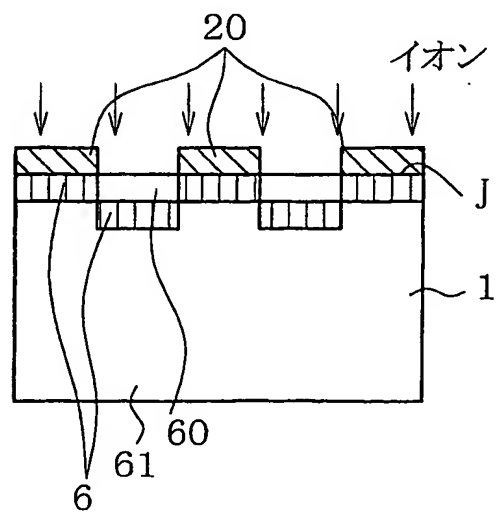


図20A

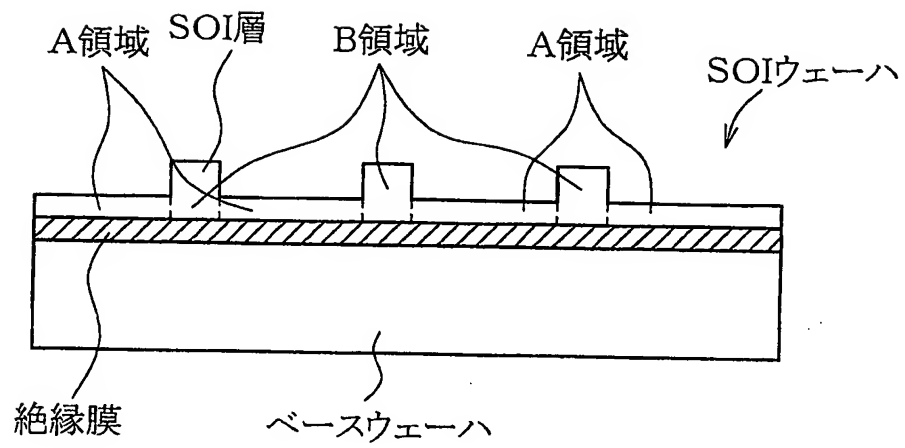


図20B

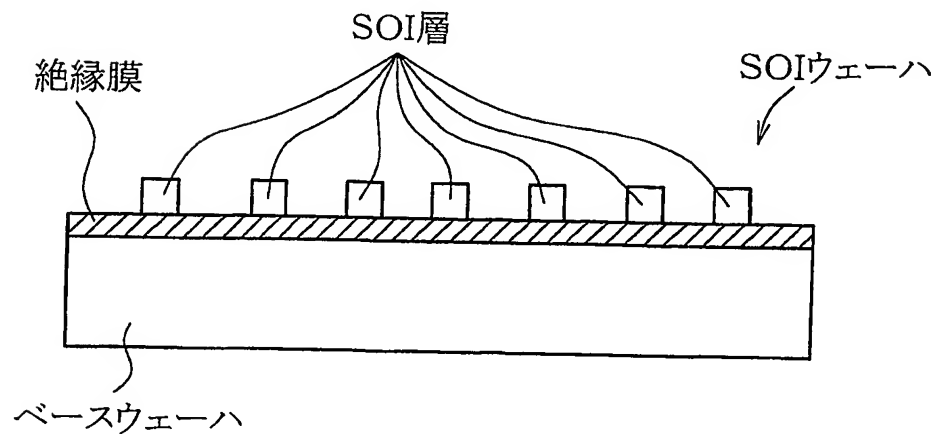


図21A

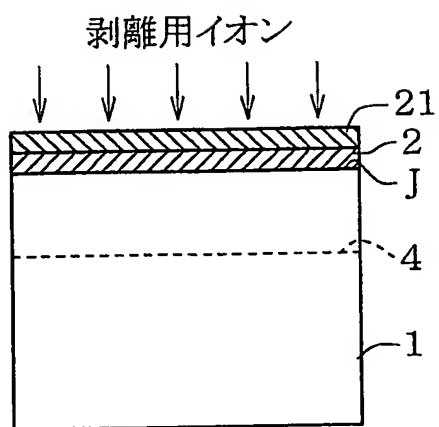


図21B

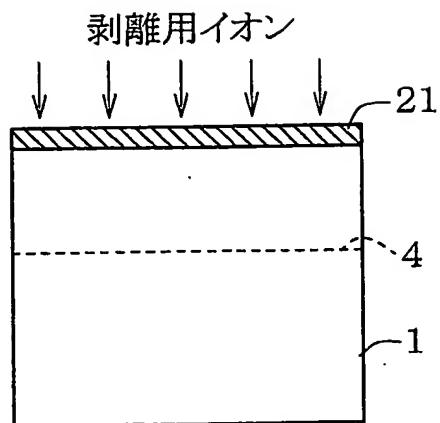


図21C

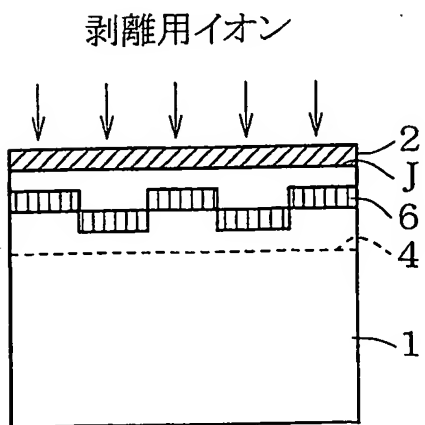
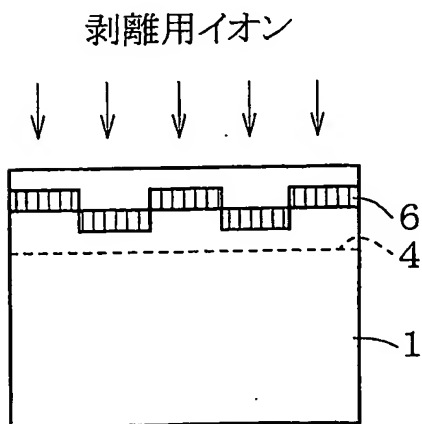


図21D



22/24

図22

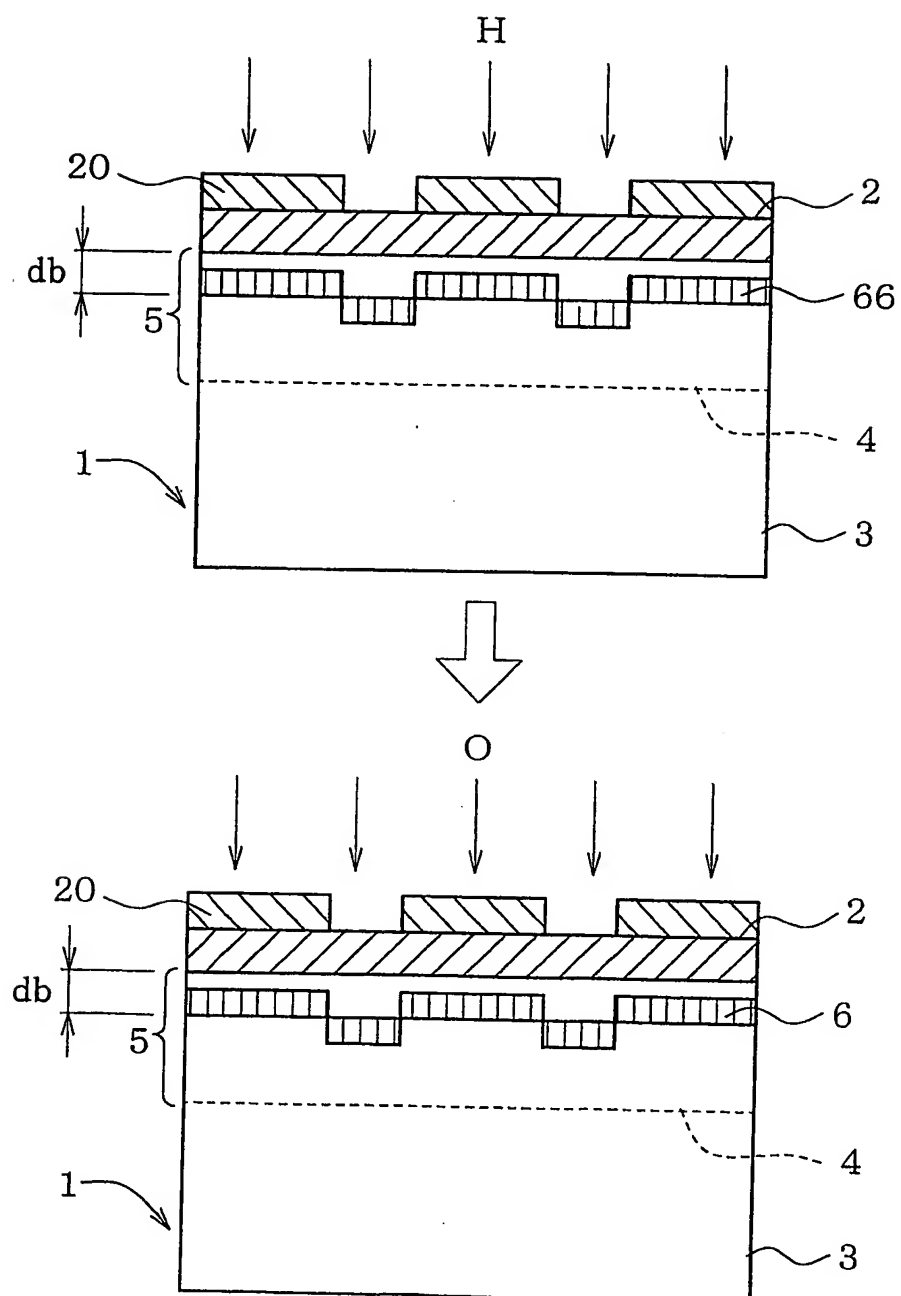


図23

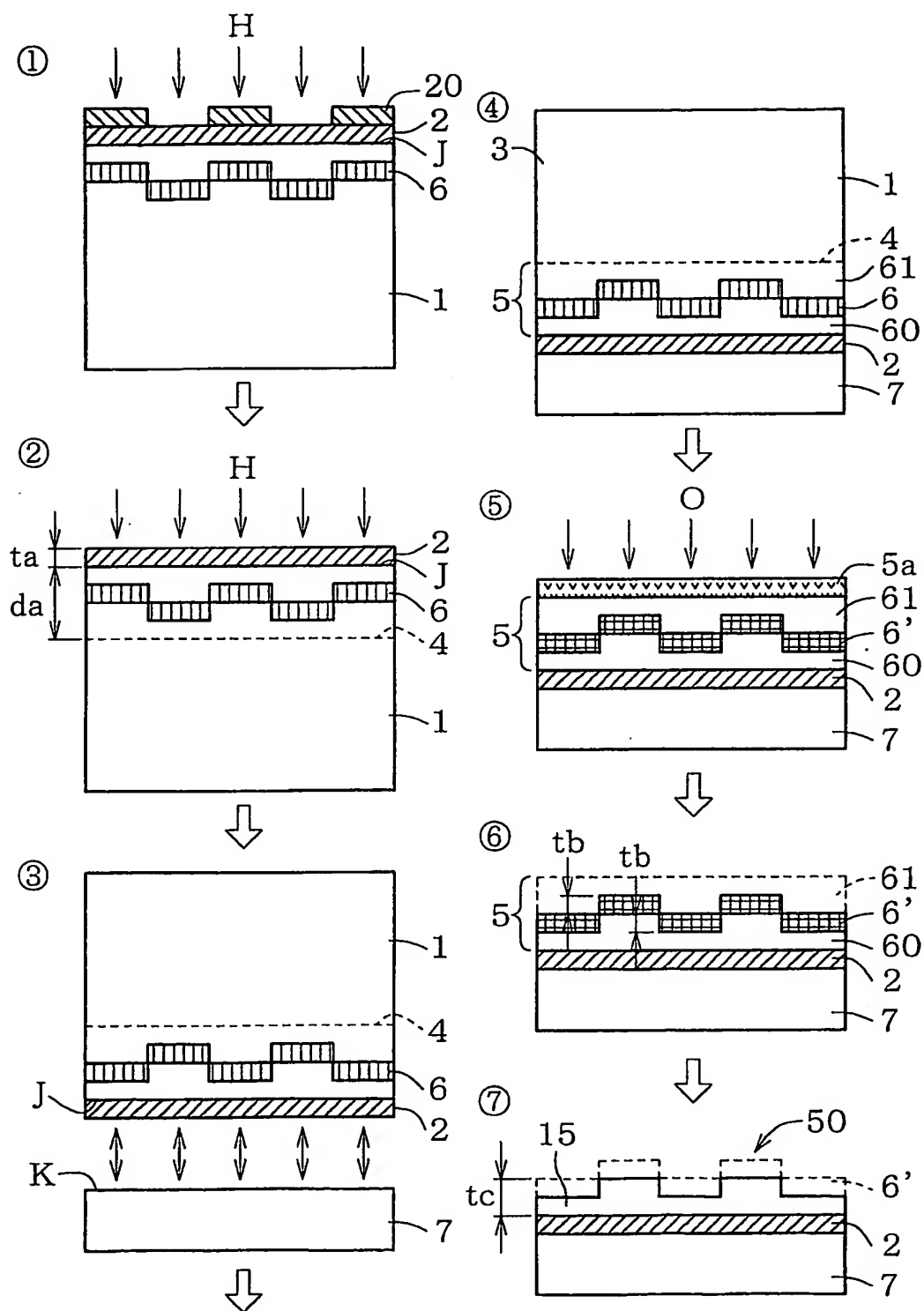
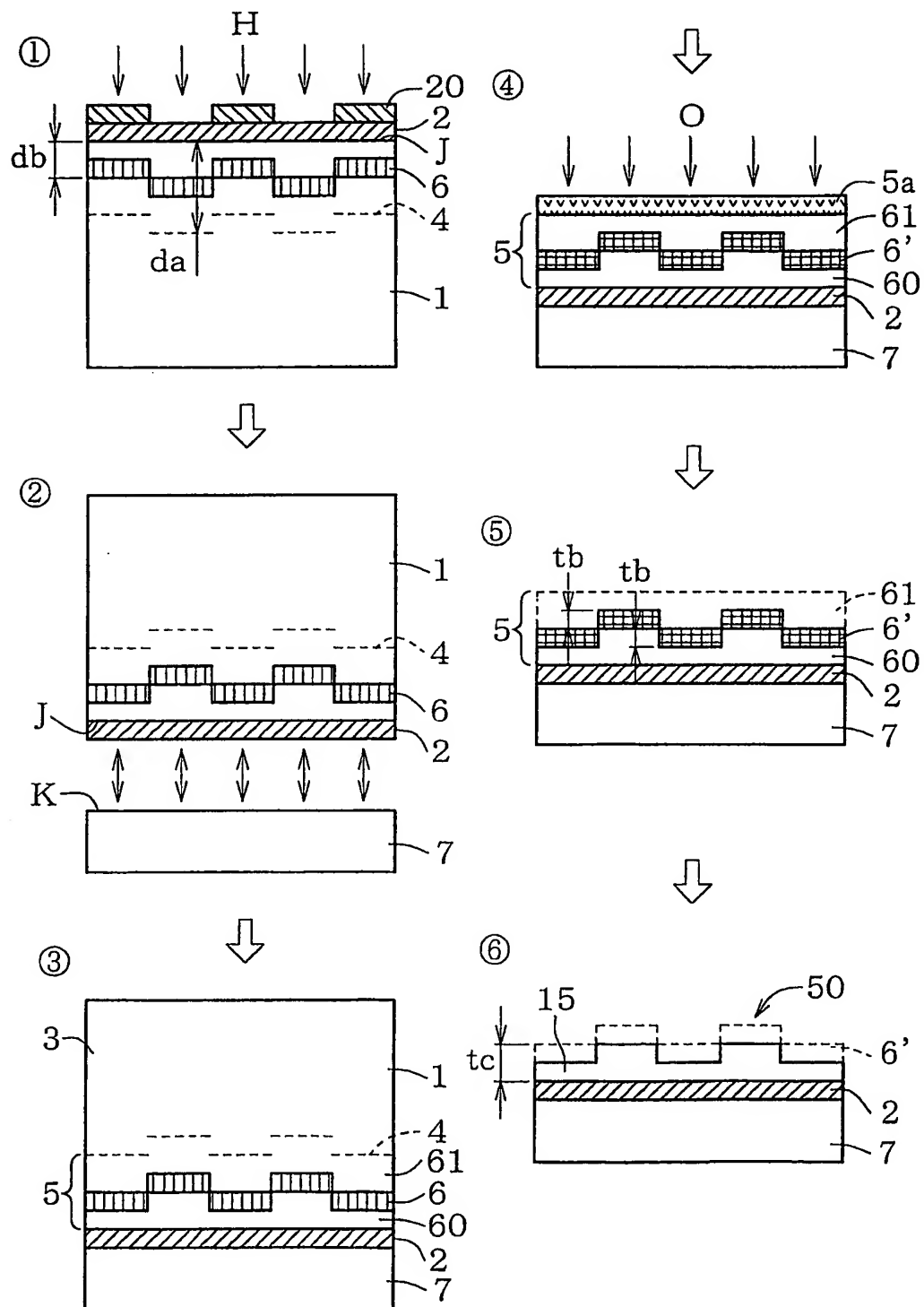


图24



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/09006

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L27/12, H01L21/265

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L27/12, H01L21/26-21/268, H01L21/322-21/326

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2-1914 A (Sony Corp.), 08 January, 1990 (08.01.90), Full text; Figs. 1 to 7 (Family: none)	1-54.
Y	JP 5-129258 A (Hitachi, Ltd.), 25 May, 1993 (25.05.93), Full text; Figs. 1 to 9 (Family: none)	1-54
Y	JP 2001-284558 A (Fujitsu Ltd.), 12 October, 2001 (12.10.01), Full text; Figs. 1 to 10 (Family: none)	1-54

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Date of the actual completion of the international search
09 October, 2003 (09.10.03)

Date of mailing of the international search report
21 October, 2003 (21.10.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/09006

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2-7468 A (Sony Corp.), 11 January, 1990 (11.01.90), Full text; Figs. 1 to 3 (Family: none)	1-54
Y	JP 4-79372 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 12 March, 1992 (12.03.92), Full text; Figs. 1 to 3 (Family: none)	3-7, 24-36, 42-44, 46-54
Y	EP 553852 A2 (CANON KABUSHIKI KAISHA), 04 August, 1993 (04.08.93), Full text; Figs. 1 to 13 & JP 5-217821 A Full text; Figs. 1 to 5 & JP 5-217823 A & JP 5-217893 A & JP 5-217994 A & JP 5-218053 A & JP 2000-82643 A & JP 2001-118853 A & JP 2002-255700 A & US 5869387 A & US 6121117 A	17-23, 29-36, 49-54
Y	JP 8-78647 A (Nippon Steel Corp.), 22 March, 1996 (22.03.96), Full text; Figs. 1 to 6 (Family: none)	19, 34
Y	JP 2000-188082 A (Hitachi, Ltd.), 04 July, 2000 (04.07.00), Full text; Figs. 1 to 6 (Family: none)	20, 35
Y	JP 4-115511 A (Fujitsu Ltd.), 16 April, 1992 (16.04.92), Full text; Fig. 1 (Family: none)	18, 22, 30, 31
Y	JP 10-98049 A (Asahi Kasei Microsystems Co., Ltd.), 14 April, 1998 (14.04.98), Full text; Figs. 1 to 2 (Family: none)	21, 36, 54
A	EP 1174926 A1 (SHIN-ETSU HANDOTAI CO., LTD.), 23 January, 2002 (23.01.02), Full text; Figs. 1 to 5 & JP 2001-210810 A Full text; Figs. 1 to 5 & WO 01/56085 A1 & US 2002/0182827 A1	1-54
A	WO 98/42010 A1 (GENUS, INC.), 24 September, 1998 (24.09.98), Full text; Figs. 1 to 8 (Family: none)	1-54

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L27/12, H01L21/265

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L27/12, H01L21/26-21/268,
H01L21/322-21/326

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2003年
日本国登録実用新案公報	1994-2003年
日本国実用新案登録公報	1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 2-1914 A (ソニー株式会社) 1990. 01. 08, 全文, 第1-7図 (ファミリーなし)	1-54
Y	J P 5-129258 A (株式会社日立製作所) 1993. 05. 25, 全文, 第1-9図 (ファミリーなし)	1-54
Y	J P 2001-284558 A (富士通株式会社) 2001. 10. 12, 全文, 第1-10図 (ファミリーなし)	1-54

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09. 10. 03

国際調査報告の発送日

21.10.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

萩原 周治

4 L 9835

電話番号 03-3581-1101 内線 3496

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2-7468 A (ソニー株式会社) 1990. 01. 11, 全文, 第1-3図 (ファミリーなし)	1-54
Y	JP 4-79372 A (日産自動車株式会社) 1992. 03. 12, 全文, 第1-3図 (ファミリーなし)	3-7, 24-36, 42-44, 46-54
Y	EP 553852 A2 (CANON KABUSHIKI KAISHA) 1993. 08. 04, 全文, 第1-13図 & JP 5-217821 A, 全文, 第1-5図 & JP 5-217823 A & JP 5-217893 A & JP 5-217994 A & JP 5-218053 A & JP 2000-82643 A & JP 2001-118853 A & JP 2002-255700 A & US 5869387 A & US 6121117 A	17-23, 29-36, 49-54
Y	JP 8-78647 A (新日本製鐵株式会社) 1996. 03. 22, 全文, 第1-6図 (ファミリーなし)	19, 34
Y	JP 2000-188082 A (株式会社日立製作所) 2000. 07. 04, 全文, 第1-6図 (ファミリーなし)	20, 35
Y	JP 4-115511 A (富士通株式会社) 1992. 04. 16, 全文, 第1図 (ファミリーなし)	18, 22, 30, 31
Y	JP 10-98049 A (旭化成マイクロシステム株式会社) 1998. 04. 14, 全文, 第1-2図 (ファミリーなし)	21, 36, 54
A	EP 1174926 A1 (SHIN-ETSU HANDOTAI CO., LTD) 2002. 01. 23, 全文, 第1-5図 & JP 2001-210810 A, 全文, 第1-5図 & WO 01/56085 A1 & US 2002/0182827 A1	1-54
A	WO 98/42010 A1 (GENUS, INC.) 1998. 09. 24, 全文, 第1-8図 (ファミリーなし)	1-54